UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
INSTITUTO DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

DESENVOLVIMENTO, IMPLEMENTAÇÃO E TESTES DE UM SISTEMA DE COMUNICAÇÃO SEM FIO HETEROGÊNEO PARA ACESSO À SERVIÇOS: APLICAÇÕES NA TELEMEDICINA E DOMÓTICA.

Por

ROBERTO MASANORI VALE SATO

Belém, PA – Brasil

Janeiro de 2011

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
INSTITUTO DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA

DESENVOLVIMENTO, IMPLEMENTAÇÃO E TESTES DE UM SISTEMA DE COMUNICAÇÃO SEM FIO HETEROGÊNEO PARA ACESSO À SERVIÇOS: APLICAÇÕES NA TELEMEDICINA E DOMÓTICA.

Por

ROBERTO MASANORI VALE SATO

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica da Universidade Federal do Pará como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Elétrica.

Orientador: Prof. Agostinho L. da Silva Castro, Ph. D.

Área de concentração: Computação Aplicada, com ênfase em Sistemas de Telecomunicação.

Belém, PA – Brasil

Janeiro de 2011

DESENVOLVIMENTO, IMPLEMENTAÇÃO E TESTES DE UM SISTEMA DE COMUNICAÇÃO SEM FIO HETEROGÊNEO PARA ACESSO À SERVIÇOS: APLICAÇÕES NA TELEMEDICINA E DOMÓTICA.

Dissertação de Mestrado submetida à avaliação da Banca Examinadora aprovada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica da Universidade Federal do Pará e julgada adequada para obtenção do título de Mestre em Engenharia Elétrica.

APROVADA EM 31 /01 /2011

BANCA EXAMINADORA:

____
Prof. Agostinho L. da Silva Castro
Orientador – PPGEE/UFPA

____
Prof. Dr. Dionne Cavalcante Monteiro
Membro – ICEN/UFPA

____
Prof. Dr. Ronaldo de Freitas Zampolo
Membro – EngComp/UFPA

____
Prof. Dr. Eduardo Coelho Cerqueira
Membro – PPGEE/UFPA

Visto:

____
Prof. Dr. Marcus Vinicius Alves Nunes
Coordenador do PPGEE / ITEC / UFPA

DEDICATÓRIA

Dedico à minha família, em
especial meus pais e minha namorada.

AGRADECIMENTOS

A DEUS, que todos os dias de minha vida me deu forças para nunca desistir.

Ao Programa de Pós – Graduação em Engenharia Elétrica PPGEE/UFPA, pelo apoio à minha participação no mestrado.

Ao meu orientador, Professor Dr. Agostinho L. da Silva Castro, por seu apoio e amizade, além de sua dedicação, competência e especial atenção nas revisões e sugestões, fatores fundamentais para a conclusão deste trabalho.

Aos professores que destinaram parte de seu precioso tempo para participarem desta pesquisa.

Ao Prof. Dr. Dionne Cavalcante Monteiro, Prof. Dr. Eduardo Coelho Cerqueira e Prof. Dr. Ronaldo de Freitas Zampolo por aceitarem participar da Banca de Defesa desta Dissertação, proporcionando discussões e sugestões que servirão para crescimento, aprendizado e incentivo à pesquisa.

Ao Prof. Dr. Jurandyr Nascimento Garcez, pela oportunidade de bolsa de projeto pela CELPA/CEA, no qual incentivou minhas pesquisas e desenvolvimento.

Ao Prof. Dr. José Felipe Almeida, pela sua experiência acadêmica, direcionamento e apoio durante minha formação.

À CAPES e à FAPESPA pelo apoio financeiro.

A todos os professores do mestrado que de alguma forma contribuíram para minha formação.

Aos meus amigos em especial, Otávio André Chase, Thiêgo Nunes, Humberto Leão, Marcos Sampaio, Denis do Rosário pela troca de conhecimentos durante a graduação e pós-graduação.

Enfim, aos familiares e amigos (novos e antigos) que sempre me incentivaram e apoiaram nessa jornada.

A todos que, direta ou indiretamente, colaboraram para a realização deste trabalho.

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

RSSF	-	Rede de Sensores Sem Fio
GPRS	-	Serviço Geral de Rádio por Pacote
GSM	-	Sistema Global para Comunicações Móveis
UMTS	-	Sistema de Telecomunicações Móveis Universal
SMS	-	Serviço de Mensagem Curta
ISDN	-	Integrated Services Digital Networks
EDGE	-	*Enhanced Data rates for GSM Evolution*
WEB	-	Rede de alcance mundial
GPS	-	Sistema de Posicionamento Global
BER	-	*Bit Error Rate*
BAyER	-	*Byte Error Rate*
RFID	-	Identificação por Rádio Frequência
AP	-	Ponto de Acesso
4G	-	Quarta Geração das Telecomunicações
PDA	-	Assistente pessoal digital
PC	-	Computador Pessoal
LAN	-	Rede de Área Local
WAN	-	Rede de Longa Distância
3GPP	-	*3rd Generation Partnership Project*
CPU	-	Unidade Central de Processamento
DSP	-	Processador Digital de Sinal
EMG	-	Eletromiografia
UART	-	*Asynchronous Receiver Transmitter*
OSEx	-	Sistema Operacional Embarcado do Dispositivo GPRSx
GPRSx	-	Denominação do Sistema Desenvolvido Nesta Dissertação
IEEE	-	*Institute of Electrical and Electronics Engineers*
ISM	-	*Industrial,Scientific,andMedical*
API	-	Interface de Programação de Aplicações
USB	-	*Universal Serial Bus*

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

LISTA DE TABELAS

SUMÁRIO

RESUMO

Nos últimos de 20 anos, economia e tecnologia evoluíram em muitas direções e em novas áreas. Muitas dessas evoluções criaram oportunidades que estão sendo consideradas na concepção de futuras redes de comunicação. Estas novas possibilidades estão relacionadas à, sobretudo, utilização da internet para o acesso à serviços e englobam: mobilidade; tecnologias de baixo custo; crescimento e empregos (pela Internet participa-se de cada processo de negócios e produção); serviços; educação (oportunidade para as pessoas crescerem e se desenvolverem); entretenimento (mundos virtuais para o lazer, compras e jogos); volume de tráfego maior (texto, voz, imagens, vídeo). Como uma consequência, a Internet se tornou, semelhante a eletricidade ou água, um bem público. Com quase 2 bilhões de usuários (aproximadamente 28% da população mundial), a Internet está se tornando, cada vez mais, uma infraestrutura difusivo oferecendo **em qualquer lugar, a qualquer momento conectividade e serviços**. Este mundo da Internet atual é o resultado de sucessivas alterações que aconteceram desde o seu surgimento e que tornaram a **infraestrutura de comunicação de importância crítica**. Em termos de tecnologias de comunicação, os sistemas móveis sem fio têm um lugar especial devido a sua difusão excepcional na última década e que, junto com a Internet, tem permitido o aparecimento de dispositivos inteligentes, a introdução de novos serviços inovadores e exigindo, para tanto, um ambiente que suporte a inovação e criatividade. Porém, os vários padrões de redes para suporte, principalmente, ao acesso de última milha são desvantagens na perspectiva do usuário, pois este tem de se habilitar nessas redes (contratar os serviços) e, não raro, ter terminais específicos para o acesso. A idéia de um padrão único para estas redes não obteve resultados satisfatórios e uma solução aponta para a integração dessas redes para prover acesso único e transparente ao usuário. Esse trabalho, portanto, apresenta uma solução embarcada para integrar padrões de comunicações sem fio heterogênea do tipo IEEE 802.15.4 ZigBee, IEEE 802.20 GSM/GPRS e IEEE 802.2 Wi-Fi. Essa heterogeneidade de tecnologias sem fio permite a um usuário em movimento, através de seu terminal local ou remoto, acessar aplicativos e serviços de forma transparente. A avaliação de desempenho da solução foi realizada utilizando-se dois tipos de serviços: domótica e telemedicina. Os resultados indicaram que a solução proposta consegue integrar e prover os serviços com segurança e confiabilidade.

Palavras-chave: Redes Sem Fio, Integração, Sistema Embarcado

ABSTRACT

In the last 20 years, economy and technology have evolved in many directions and into new areas. Many of these developments have created opportunities that are being considered in the conception of future communication networks. These new possibilities are related to, specially, use the internet to access services and include: mobility, low cost technologies, growth and jobs (over the Internet it is possible to participate in each business process and production) services, education (opportunity for people to grow and thrive), entertainment (virtual worlds for entertainment, shopping and games), a high traffic volume (text, voice, images, video). As a result, the Internet has become, like electricity or water, a public good. With almost 2 billion of users (about 28% of world population), the Internet is becoming, increasingly, a pervasive infrastructure providing anywhere and anytime connectivity and services. This world of the Internet current is the result of successive changes that have occurred since its inception and became the communications infrastructure of critical importance. In terms of communication technologies, mobile wireless systems have a special place because of its exceptional propagation in the last decade and, along with the Internet, has allowed the emergence of smart devices, the introduction of new innovative services and demand for an environment that supports innovation and creativity. However, the various network standards to support, mainly to access to last mile are disadvantages to the user's perspective, because it has to enable these networks (to contract the services) and often to have specific terminals to access them. The idea of a single standard for these networks did not achieve satisfactory results and a solution points for the integration of these networks to provide unique and transparent access to the user. This paper therefore presents an embedded solution for integrating wireless communications standards such heterogeneous IEEE 802.15.4 ZigBee, IEEE 802.20 GSM / GPRS and Wi-Fi IEEE 802.2. This heterogeneity of wireless technologies enables a user moving through your local or remote terminal access applications and services in the transparent way. Performance evaluation of the solution was performed using two types of services: home automation and telemedicine. The results indicated that the proposed solution can integrate and provide services with safety and reliability.

Keywords: Wireless Networks, Integration, Embeded System

Introdução

Atualmente vivemos em uma sociedade na qual o foco principal é a informação, sendo que a mesma está disponível em diversos meios de acessos sob forma de áudio, vídeo, imagens e dados. Cada vez mais os usuários desejam adquirir, fornecer, compartilhar e interagir com informações e serviços de qualquer lugar, a qualquer momento e utilizando qualquer dispositivo. Para tanto são, necessários alguns parâmetros para que este acesso seja viável, considerando a mobilidade, a qualidade de serviço e a interatividade.

As redes sem fio atuais estão convergindo para uma comunicação integrada denominada redes 4G. Vários grupos como o 3GPP e o 3GPP2, estão desenvolvendo modelos para integrar suas famílias de tecnologias de redes sem fio. Os sistemas de comunicação sem fio futuros estão sendo projetados com ferramentas de análise baseadas em sistemas de sensores locais e de maior abrangência para interpretar as observações do ambiente e adaptar, de forma flexível, a rede ao dinamismo do sistema de comunicação [1].

Essas redes de nova geração prevêem a integração de vários sistemas heterogêneos existentes, unidos em uma infra-estrutura capaz de entregar transparentemente aos usuários finais uma ampla gama de serviços com a finalidade de permitir a sua comunicação e acesso à informação, considerando a qualidade dos serviços fim-a-fim [1]. A convergência das redes sem fio permitem o fornecimento de serviços móveis e interativos através de diversos padrões de redes.

Neste cenário, as operadoras de telecomunicações buscaram, nestes serviços de dados, novas oportunidades de negócio/renda. As operadoras passaram a investir em uma segunda rede, de dados (pacotes), para ofertarem serviços, em adição à rede de voz convencional. Hoje existem terminais que ficam conectados o tempo todo na *Internet* com tarifação por volume de uso, o que abre possibilidades de maior penetração desses serviços.

Portanto, um dos desafios das convergência de redes é a complexidade de testes para a determinação de problemas e garantia de disponibilidade e performance [2].

A evolução de uma rede existente em direção a essa nova estrutura necessitará de uma estratégia de migração progressiva, visando uma redução, ao mínimo, das despesas de investimentos durante a fase de transição e se beneficiando das vantagens que ela apresenta. Toda iniciativa empreendida, quando dessa etapa de transição, deverá simplificar a evolução da rede em direção à arquitetura convergente e à comutação de pacotes. Porém, durante vários

anos ainda, os serviços de comutação tradicional vão coexistir com os elementos de rede da nova tecnologia [3].

Com base nestas premissas, este trabalho apresenta uma solução embarcada para integrar diferentes padrões de redes de comunicações sem fios existentes de maior utilização na sociedade como um todo, a fim de gerar novos serviços e uma concepção futura para nova geração dos meios de comunicação. A forma de como são integradas essas redes sem fio e transparência, do uso dessas tecnologias, ao usuário foi a viabilidade através da construção de um dispositivo, *hardware* e *software,* onde o desenvolvimento de um protocolo de comunicação próprio permitiu atender dois de processos: Domótica e Telemedicina.

1.1 Motivação

Considerando que no futuro as redes de comunicação sem fio serão constituídas de uma grande variedade de redes sem fio com diferentes capacidades, tendo como componentes principais as redes de telefonia móvel e as redes de acesso local de banda larga, pode-se concluir que outras tecnologias serão projetadas para complementar essas duas redes [4].

Existe hoje uma diversidade de serviços oferecidos aos usuários que está aumentando a cada dia, principalmente em telefonia móvel. Nas tecnologias mais recentes, os aparelhos celulares e PDA estão se tornando cada vez mais conectados à *Internet*, possibilitando acesso à quase todos os serviços que eram disponíveis apenas através de outros meios de acesso, como os computadores pessoais [5]. O maior estímulo para a mudança das redes é a redução de custos. Os custos dos equipamentos de telecomunicações têm caído na mesma proporção dos PCs e isso tem estimulado o crescimento e o uso das redes. Outra economia é o uso compartilhado da infra-estrutura, operação, manutenção e uso dos serviços de rede.

A implementação de uma infra-estrutura de rede convergente para o provimento de serviços de voz e dados integrados, em contraste com as atuais plataformas independentes, representa um enorme potencial de redução de custos de operação e manutenção de rede foi um elemento motivador deste trabalho [6].

1.2 Objetivo

Esse trabalho propõe a construção de uma solução embarcada para integrar padrões de comunicações sem fio heterogênea do tipo IEEE 802.15.4 ZigBee, IEEE 802.20 GSM/GPRS e IEEE 802.2 Wi-Fi. Essa heterogeneidade de tecnologias sem fio permite a um usuário em

movimento, através de seu terminal local ou remoto, acessar aplicativos e serviços. A convergência das tecnologias envolvidas possibilita também ao usuário interagir com o serviço que lhe é provido. Conectado ao serviço por uma das tecnologias de acesso, o usuário passa a usufruir o serviço disponibilizado e interagir com o sistema no qual está inserido.

1.3 Organização do Trabalho

Este trabalho está organizado da seguinte maneira: o Capítulo 1 apresenta o cenário de uso de redes em diferentes tecnologias sem fio e uma nova concepção para a nova geração em sistema de comunicação, a motivação e o principal objetivo deste trabalho. O Capítulo 2 apresenta, respectivamente, conceitos sobre tecnologias de redes sem fios, principais serviços e aplicativos oferecidos e a importância das heterogeneidades e a convergência das futuras redes. O Capítulo 3 descreve a metodologia desenvolvida para a solução embarcada de integração de redes heterogêneas, apresentando sua construção de *hardware e software* bem como, sua operacionalidade e o desenvolvimento do protocolo de comunicação entre redes. O Capítulo 4 apresenta os testes e resultados obtidos através de dois cenários a fim de verificar o desempenho entre redes. O Capítulo 5 finaliza a dissertação com as contribuições e trabalhos futuros.

Capítulo 2

Considerações sobre as redes de comunicações sem fio e serviços

Redes de comunicação sem fio (*wireless*) são redes de computadores e de comunicação que utilizam ondas eletromagnéticas para transmitir informações pelo meio do ar [1]. A tecnologia sem fio é um paradigma revolucionário que possibilita a melhoria e o surgimento de novos serviços. Diversas aplicações como rede de sensores, casas inteligentes, telemedicina, rodovias automatizadas têm avançado por causa dessa tecnologia.

Este capítulo tem como objetivo contextualizar o problema abordado nesta dissertação, descrevendo algumas tecnologias sem fio e serviços associados. Este capítulo enfoca as redes de comunicação sem fio ZigBee*,* Wi-Fi e GPRS e os serviços às aplicações e serviços associados.

2.1 Introdução

Hoje as LANs e WANs convivem com uma nova visão de negócio e necessidades que podem ser traduzidas, principalmente, através da convergência das redes tradicionais de telefonia, das redes de dados e das atuais tecnologias de redes de sensores sem fio. Essas redes possuem equipamentos e infraestrutura própria e, portanto, a integração delas deve permitir acesso aos mais diversos serviços de maneira única originando uma rede heterogênea de tecnologia, de terminais e serviços. Essas características, no entanto, apesar dos desafios técnicos no desenvolvimento de novas redes trarão novas oportunidades a serem exploradas [1].

2.1.1 Tecnologias Sem Fio

As tecnologias de informação sem fio são tecnologias que envolvem o uso de dispositivos conectados a uma rede ou a outro aparelho por enlaces de comunicação sem fio.

A idéia da comunicação sem fio através de transmissores e receptores via rádio freqüência surgiu em meados do século XIX, a partir das teorias de dois físicos ingleses, Michael Faraday e James Clerk Maxwell. Em 1888, Heinrich Hertz aplicou essas teorias para construir um transmissor centelhador, um dispositivo que gerava ondas de rádio a partir de

uma centelha elétrica. Em 1895, o engenheiro eletricista italiano Guglielmo Marconi ampliou o alcance dessas transmissões e adaptou a tecnologia para enviar e receber sinais telegráficos sem fio.

Em 1901 Marconi construiu o primeiro transmissor telegráfico transoceânico e no, início do século XX, os avanços na tecnologia de tubo de vácuo, desenvolvidos pelo professor inglês John Ambrose Fleming e pelo inventor norte-americano Lee De Forest, tornou possível modular e amplificar sinais para o envio de transmissões de voz sem fio. O alcance e a clareza das transmissões vocais aumentaram à medida que se fizeram novos progressos na tecnologia. Em 1915 a American Telephone Telegraph Company transmitiu uma mensagem vocal por rádio entre os Estados Unidos e a França [1].

Na década de 30 do século passado, pequenos transmissores de rádio bidirecionais já eram usados por policiais e funcionários dos serviços de atendimento a emergências. Aperfeiçoamentos tecnológicos tornaram os sistemas de comunicação bidirecionais menores e mais leves, com alcance e capacidade ampliados [1].

Os avanços no campo da comunicação nos últimos anos possibilitaram o surgimento de várias tecnologias, que desde então, procuram atender a real necessidade de seus usuários, com a melhor qualidade possível. Entre estas tecnologias, os sistemas móveis sem fio tem um lugar especial devido a sua difusão excepcional na última década que junto com a Internet tem permitido o aparecimento de dispositivos inteligentes, a introdução de novos serviços inovadores, exigindo um ambiente que suporte a inovação, criatividade e crescimento econômico.

Nos últimos anos, houve um desenvolvimento significativo das tecnologias sem fio, principalmente devido à necessidade de conectividade entre dispositivos. Antes disso, as tecnologias focalizavam mais os serviços de voz, Internet (IEEE802.11b) e a transferência de arquivos. Entretanto, em algumas áreas como a industrial, a médica e a residencial necessitavam de uma tecnologia que realizasse esta conectividade com um baixo consumo de energia, um baixo custo, simplicidade do protocolo e padronização [6]. Algumas destas tecnologias são:

- **Telefonia Celular** [4]

A tecnologia UMTS (*Universal Mobile Telecommunications System*), um dos padrões 3G, foi especificada pelo grupo 3GPP (*3rd Generation Partnership Project*) e é parte do padrão global ITU IMT-2000. A tecnologia UMTS está diretamente relacionada à tecnologia

GSM (*Global System for Mobile Communication*), por ter sido desenvolvida a partir desta. Por essa razão, quase todos os dispositivos UMTS aceitam GSM, permitindo operação em modo-dual. UMTS provê serviços de alta transmissão de dados para redes de dados sem fio e telefonia móvel. Essa tecnologia mantém características da segunda geração GSM para telefonia móvel e GPRS (*General Packet Radio Service*) para redes de dados sem fio, onde as capacidades de *roaming* são mantidas e outras foram adicionadas. As novas capacidades incluem envio e recebimento de fotos, gráficos e vídeos, além de serviços de voz e dados.

- **Wi-Fi** [19] [8]

Wi-Fi (Wireless Fidelity - nome comercial dos padrões IEEE 802.11(a/b/g/n...)). Estes padrões possuem algumas características em comum. O 802.11n, padrão mais recente, tem velocidade de transmissão de 65 a 600 Mb/s, nas faixas de frequência de 2,4 e/ou 5 GHz. Já os 802.11b/g, que transmitem até 11 e 54 Mb/s, respectivamente, operam a 2,4 GHz com largura de banda gratuita e possuem equipamentos de baixo custo, além de serem os mais populares entre as WLANs. Historicamente, foi com o surgimento dos notebooks que se iniciou a era da mobilidade no ambiente de trabalho e despertando a vontade de se conectar à internet em qualquer local sem auxílio de cabos. Esse foi o ponta pé inicial para começar os estudos das redes sem fio. A dificuldade foi encontrar compatibilidade entre as marcas, pois um computador equipado com uma marca X poderia não funcionar em um escritório equipado com equipamentos Y. O IEEE foi o responsável por elaborar um padrão para redes sem fio, assim chamado de 802.11, sendo mais conhecido por Wi-Fi. Em meados da década de 1990 foi lançado o primeiro padrão, o 802.11, mas observou-se a necessidade de tornar a tecnologia 802.11 compatível com a Ethernet. Alguns problemas ficaram evidentes, mas foram solucionados com a padronização de 1997, porém sua velocidade era lenta (1Mbps ou 2Mbps). E assim o comitê da IEEE começou a trabalhar em busca de padrões mais rápidos. Em 1999 foram lançadas duas padronizações a 802.11a e 802.11b que resolveram o problema da baixa velocidade. Posteriormente foi publicado o padrão 802.11g uma combinação dos padrões 802.11a e 802.11b.

A seguir a Tabela 2.1 lista as faixas de freqüência e taxa de dados do padrão 802.11.[9].

Tabela 2. 1 - Especificações

Padrão	Faixa de freqüência	Taxa de dados
802.11b	2.4 – 2.485 GHz	até 11 Mbps
802.11a	5.2 – 5.8 GHz	até 54 Mbps
802.11g	2.4 – 2.485 GHz	até 54 Mbps

- **Bluetooth** [10]

Bluetooth é o nome associado ao padrão IEEE 802.15, aberto para redes pessoais sem fio – WPAN. Esse padrão descreve como conectar, e trocar dados e voz entre dispositivos, como telefones celulares, computadores portáteis, computadores de mesa, impressoras, câmeras digitais, receptores de GPS e consoles de videogames digitais, através de uma banda de freqüência de rádio de curto alcance de 2,4 GHz, não licenciada (aberta) e segura. A tecnologia de rádio utilizada por esse padrão é denominada "salto de freqüência por espalhamento espectral" (*frequency-hopping spread spectrum*), a qual corta em pequenos pedaços o dado a ser enviado e o transmite em blocos utilizando até 79 portadoras escolhidas aleatoriamente. Sua taxa de transmissão pode chegar a 1 Mbps. Os grupos de interesse para esse protocolo consistem em empresas nas áreas de telecomunicação, computação pessoal, redes sem fio e consumidores de eletrônicos

Muitas são as aplicações atuais do padrão 802.15, entre elas pode-se citar como as principais [9] [11]:

- Controle e comunicação sem fio entre aparelhos celulares e fone de ouvido ou sistemas de viva-voz;
- Comunicação sem fio entre computadores em um espaço reduzido, onde pouca largura de banda é necessária;
- Comunicação sem fio entre computador e dispositivos de entrada e saída, como mouse, teclados e impressora;
- Comunicação sem fio entre telefones celulares e estações de telefonia fixa, para funcionar como um telefone sem fio dentro da área de cobertura e economizar em tarifas de serviço telefônico.
- Transferência de arquivos entre dispositivos usando OBEX.
- Transferência de contatos, anotações e eventos de calendário e lembretes entre dispositivos com OBEX.

- Substituição de dispositivos seriais tradicionais com fio em equipamentos de teste, receptores GPS, equipamentos médicos, leitores de código de barras e dispositivos de controle de tráfego.
- Para controles onde o infravermelho era tradicionalmente utilizado.
- Enviar pequenas propagandas para dispositivos ativados por Bluetooth.
- Consoles de videogames da nova geração – Wii e Play Station 3 usam Bluetooth para seus respectivos controles sem fio.
- Acesso dial-up à internet em um computador pessoal ou PDA usando um celular compatível com dados como modem.
- Receber conteúdo comercial (Spam) via um quiosque, como em um cinema ou lobby.

❑ **Padrão Zigbee** [12] [13]

Após um período de pesquisas e desenvolvimento, foi apresentado em dezembro de 2004, a toda comunidade científica, o padrão Zigbee. O padrão IEEE 802.15.4 e o Zigbee surgiram com o intuito de suprir a falta de uma solução voltada às redes de sensores sem fio aplicadas às áreas indústria e residencial.

O padrão Zigbee define um conjunto de protocolos de comunicação para redes sem-fio de curto alcance e baixa taxa de tráfego de dados. As redes do tipo Zigbee começaram a ser projetadas em meados de 1998 quando muitas aplicações que outrora eram desenvolvidas sob a ótica Wi-Fi e Bluetooth começaram a se tornar inviáveis por questões como gerenciamento de energia, ineficiência de banda alocada, complexidade de protocolos, etc. Na época, o principal foco das redes wireless Wi-Fi era de aumentar a taxa de transmissão de dados e desenvolver um protocolo seguro que permitisse acesso à internet para dispositivos fixos e móveis. Em redes Bluetooth, o objetivo era a criação de uma rede pequena, com limitação dos dispositivos e das taxas de dados. Dessa maneira, as aplicações para redes de sensores estavam fadadas a serem muito mais complexas e caras se utilizassem o padrão Wi-Fi ou limitadas demais caso fosse escolhido o padrão Bluetooth. Uma comparação entre essas tecnologias é mostrada na Figura 2.2, que destaca as diferenças entre as taxas de transmissão de dados e o alcance de cada uma. [14]

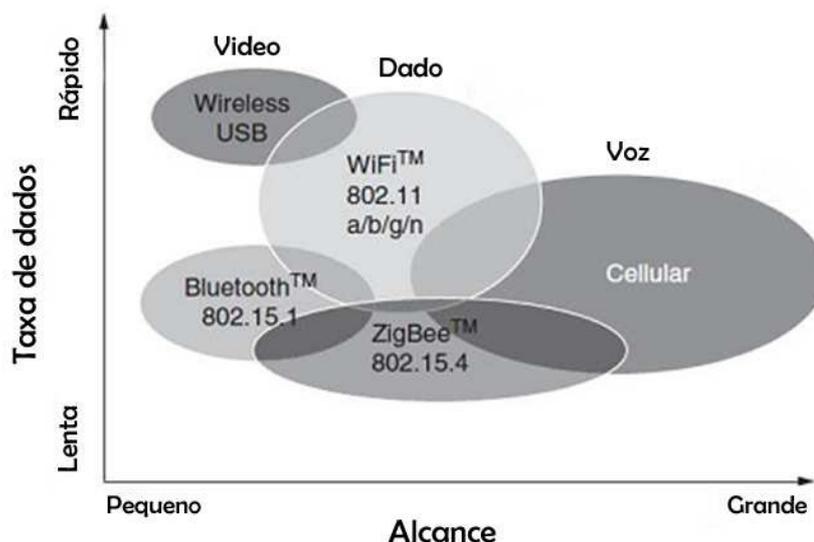



Figura 2. 1 - Comparação entre as tecnologias wireless [15].

Na seção a seguir, serão abordados alguns serviços e aplicações acessados e/ou permitidos pelas redes sem fio citadas.

2.2 Trabalhos relacionados

2.2.1 Aplicações e serviços utilizando tecnologias de comunicação sem fio por meio da rede ZigBee

Segundo [16], uma aplicação/serviço usando a tecnologia ZigBee engloba o desenvolvimento de um sistema de medição de baixo custo voltado para a localização de faltas em alimentadores de distribuição de energia elétrica para a aquisição dos dados de tensão e corrente de cada fase do alimentador. No trabalho, é descrito um modo para garantir altos índices de qualidade de fornecimento, além de proporcionar um baixo custo e possibilitar a aquisição e processamento dos valores de tensão e corrente e, com isso, identificar ramais e/ou setores de alimentadores sob falta, facilitando assim o restabelecimento do fornecimento da energia ao consumidor. Nesse contexto, utilizou-se um algoritmo para avaliar o desempenho de dispositivos Zigbee, que apresentou os resultados obtidos em termos de BER (Bit Error Rate) e BAyER (Byte Error Rate). Com isso, pôde ser avaliada a robustez da comunicação sem fio e a compatibilidade eletromagnética da blindagem dos circuitos eletrônicos. No artigo em questão, o sistema apresentado empregou técnicas de comunicação sem fio como uma ferramenta poderosa no auxílio da identificação

de defeitos em ramais e/ou setores de alimentadores sob falta, tornando mais rápido, desta maneira o restabelecimento do fornecimento da energia ao consumidor.

Outro sistema usando a tecnologia é Zigbee é apresentado em [17] que ,utilizando dos conceitos de redes de sensores, do protocolo Zigbee e dos sistemas de ar condicionado convencional e híbrido, é possível se integrar duas redes Zigbee com controle embarcado liga-desliga para gerenciar as temperaturas de duas salas de um prédio. O trabalho mostrou a integração de duas redes de sensores em um laboratório objetivando o controle de dois ambientes ao mesmo tempo.

2.2.2 Tecnologias de comunicação sem fio por meio das redes Wi-Fi e GPRS

Como diariamente novos aplicativos J2ME surgem utilizando a transferência de dados via rede celular ou sem fio, popularizou-se o acesso a Internet a partir dos aparelhos móveis. O aplicativo desenvolvido em [18] tem como objetivo o acesso a servidores Linux por meio de uma conexão SSH a partir de um dispositivo celular com suporte a J2ME. Este aplicativo disponibiliza ao usuário a possibilidade de se conectar a qualquer servidor Linux ligado a uma rede, por meio de uma conexão segura, com acesso a funções de gerenciamento sem a necessidade de um segundo aplicativo instalado no servidor. Com o uso da plataforma de desenvolvimento J2ME e a utilização de um código simples e genérico, foi criado um aplicativo compatível com a maior parte dos dispositivos móveis disponibilizados atualmente pelo mercado. Com tal aplicativo, é possível utilizar qualquer conexão com a rede, sendo por meio de uma rede celular ou uma rede wireless. Outra grande vantagem do uso deste aplicativo é a possibilidade de se conectar a qualquer servidor Linux, sem configuração prévia, pois se trata de um protocolo padrão deste sistema operacional.

Em [19], mostra-se um interessante serviço para pessoas com portadoras de deficiência através do uso do Wi-Fi. Usando redes sem fio para ajudar na navegação, o sistema proposto alerta o usuário da sua proximidade com entradas acessíveis a um determinado edifício ou instalação. Os pesquisadores *da Intel Research* desenvolveram um programa de aplicação de código aberto chamado *Place Lab**, que monitora, em uma proximidade, pontos (WiFi) de acesso (APs) 802,11 e usa pontos de sinais fortes, a fim de estimar a localização de um dispositivo computacional. A localização do usuário é então marcada em uma imagem da área. A imagem pode ser um mapa, uma planta baixa do edifício, ou uma foto aérea. Com a aplicação: “Navigational-System of Accessible Facilities”,

o aplicativo dinamicamente exibe ícones num mapa com possíveis entradas acessíveis em um edifício perto da localização do usuário. Trabalhos adicionais podem ser feitos para calcular as estimativas de posição usando vários tipos de sinais incluindo GPS, Bluetooth, celular e identificação por radio-frequência (RFID).

Em [20], propõe-se um modelo de um novo aplicativo híbrido usando uma zona de Wi-Fi. Dentro da zona, o usuário de um Smartphone distingue um serviço AP (Access Point) de outros AP. Esta abordagem simples contém suficientes informações de prestação de serviços que é específico de sua localização. Comunicando-se com um servidor local, o usuário pode utilizar vários conteúdos e serviços (cupom, livros, clima, notícias, saúde, redes sociais, viagens, medicina, etc). O conteúdo ou serviços podem ser alterados com base na localização do usuário, de modo que o usuário pode experimentar o conteúdo ilimitado baseado no local. A aplicação híbrida pode fornecer mais funções do que única aplicação. O artigo propõe que melhoria da aplicação híbrida usando Wi-Fi faz com que o Smartphone seja um dos mais fortes candidatos a reduzir a complexidade de aplicação e WEB móvel no futuro.

Em [21], observa-se a utilização da tecnologia presente em celulares, na qual o objetivo é realizar um controle automotivo através de comandos enviados por mensagem de texto SMS (Short Message Service). Tais comandos acionam funções de um microcontrolador executando as funções solicitadas através de comandos dados pelo usuário, usando o serviço celular de SMS. Um modem GSM/GPRS é utilizado como intermediário para o recebimento/envio de mensagens entre o microcontrolador e o celular do usuário. O projeto contribuiu apresentando um sistema que oferece segurança, praticidade e economia, e que permite ao usuário um alcance limitado apenas pela cobertura da rede GSM. Sendo um projeto portável e flexível, há a possibilidade da realização de diversos trabalhos adicionais e complementares. Além de o sistema permitir expansão e melhoria via software e/ou hardware, pode ser desenvolvido um projeto equivalente para outras áreas.

Em [22], os autores propõem o desenvolvimento de um dispositivo de alarme que pode disseminar avisos de desastres para as comunidades mais ameaçadas através da rede GSM. O dispositivo descrito é capaz de gerar alarme audível alto, sinal luminoso através de lanternas e o acionamento de um rádio embutido em resposta a uma mensagem de aviso uma entidade autorizada através do serviço GSM de mensagens curtas (SMS) ou de difusão celular (CB - Cell Broadcast). O trabalho expõe um importante uso da rede GSM que possui uma ampla área de cobertura mundial.

2.3 Trabalhos relacionados às aplicações e serviços em redes heterogêneas

Em [38], há a descrição de uma arquitetura que combina o GPRS e o ZigBee para estabelecer uma estrutura de rede multi-modo que utiliza o serviço GPRS como dispositivo de transmissão de dados em grande área, enquanto ZigBee numa área local. De acordo com a pesquisa, este tipo de estrutura de rede fornece uma maneira simples de configurar uma rede sem fio entre equipamentos terminais, dispositivos remotos e pessoais. Com as facilidades apresentadas no uso do Zigbee e GPRS, este tipo de arquitetura de rede pode ser amplamente utilizado em várias áreas, tais como: monitoramento de segurança, controle industrial, controle de sensores, sistema de tarifação de estacionamento e monitoramento ambiental. Suas áreas de aplicação abrangem, também, transportes, proteção ambiental, meteorologia, segurança, mineração, petróleo, eletricidade, impostos, saúde, finanças, educação e costumes. Tal tecnologia é uma nova arquitetura de rede multi-modo usado na implantação, em áreas de difícil acesso e tóxicas ao homem, para o monitoramento ambiental e construção de um processo de controle inteligente de produção industrial.

Em [39], é apresentado um projeto de um sistema de monitoramento de energia elétrica baseado nas tecnologias de comunicação ZigBee e GPRS. O sistema utiliza CC2430 como módulo ZigBee, e projeta o nó-coordenador para realizar o monitoramento dos nós terminais. O sistema utiliza GPRS para transmissão remota com o intuito de realizar um sistema sem fio real. Tal sistema pode reduzir custos e a complexidade de construção e tem perspectivas de ampla aplicação; podendo também atingir as funções tais como monitoramento, controle e proteção das subestações e equipamentos relacionados. Em tal artigo, os autores comentam que num futuro próximo, com as grandes vantagens da tecnologia ZigBee, juntamente com outras tecnologias sem fio, haverá uma profunda e completa alteração do aspecto do sistema de automação de energia; na qual, os sistemas de vigilância sem fios desempenharão um papel importante em *Smart Grid*.

Em [40], apresenta um sistema de monitoramento de incêndio florestal baseado numa rede de sensores Zigbee e GPRS. Um programa de implementação de uma rede sem fio orientado para o monitoramento dos incêndios florestais foi apresentado com base na tecnologia de comunicação GPRS e na tecnologia ZigBee. As informações ambientais da floresta são coletadas por uma rede de sensores sem fio e transmitidas a um servidor FTP com IP da rede pública na internet através da rede celular pelo módulo GPRS que era controlada por nó coordenador. O centro de monitoramento recebe os dados e através da análise de dados

históricos e dados em tempo real, as decisões são tomadas. Tal sistema possui uma importância estratégica para melhorar o nível de monitoramento dos incêndios florestais. Os autores afirmam que a bem-sucedida conexão entre a rede ZigBee e internet através da rede GPRS faz a complementaridade funcional de várias redes e implementa o acesso remoto aos dados de monitoramento dos incêndios florestais. Comparado aos sistemas de monitoramento de incêndios florestais tradicionais o programa é bom pela estrutura flexível, relação custo/tempo reduzido e fácil operação.

Em [23], os autores mostram uma importante aplicação na área médica da convergência de redes devido à crescente importância do desenvolvimento de sistemas de monitoramento remoto de sinais vitais e da qualidade de vida. O citado artigo propõe um sistema baseado em redes de sensores sem fio, para facilitar a criação de espaços inteligentes, em que todos os pacientes usam um módulo sensorial corporal ligado em malha por ZigBee. Um módulo coordenador (gateway XBee/GPRS) recolhe alertas e dados vitais ou de contexto e transmite-os para um servidor remoto que os armazena; estes dados poderão posteriormente ser processados estatisticamente e analisados por vários especialistas com acesso a uma simples página WEB. O sistema descrito neste artigo propõe uma solução ágil, de fácil configuração e manutenção, que permite acompanhar à distância e em tempo real os dados vitais de um grande número de pacientes, podendo desencadear alertas em situações de emergência.

Em [24], os autores apresentam uma abordagem similar ao trabalho [25], sugerindo uma gateway ZigBee/GPRS. Este trabalho faz a ponte entre as comunicações de curto alcance (ZigBee) e as comunicações de longa distância (GPRS) permitindo, através da Internet, visualizar os dados da rede de sensores.

Zhao e Cui [42], mostram em seu artigo a utilização de sensores ZigBee em conjunto com GPRS, com intuito de realizar medidas de sinais vitais de pacientes e enviar esses sinais a um centro médico onde os dados seriam analisados. A concentração de oxigênio no sangue foi medida através de um nó desenvolvido e o resultado foi transmitido sem fio até uma estação base, onde a curva em função do tempo foi plotada em uma tela LCD. O padrão mostrou-se eficiente para esse tipo de aplicação.

No contexto de automação residencial, em [26] é abordado o desenvolvimento de uma solução sem fio para automação residencial de baixo custo, modular, que viabilize o acesso e controle de variáveis e funcionalidades residenciais por meio da utilização de celulares e modems com suporte à tecnologia GPRS, programação Java e dispositivos transceptores ZigBee. Os autores enfatizam que devem ser criadas novas alternativas para prover os

benefícios da automação residencial de forma mais simples, com menor custo e com foco nas tecnologias sem fio. Nesse contexto, os autores citam que a tecnologia dos módulos M2M e dispositivos ZigBee formam em conjunto uma alternativa em potencial.

Em [41], os autores apresentam um projeto baseado numa rede de sensores usando a tecnologia Zigbee/IEEE802.15.4. Neste artigo, uma rede é usada para monitorar o estado de segurança em uma comunidade inteligente e dar o alarme. Cada nó sensor no sistema é composto de sensores e um chip integrado CC2430. A tecnologia GPRS é utilizada para trocar dados completos entre o centro de monitoramento remoto e sub-redes de sensores sem fios. A utilização de uma rede de sensores sem fio baseada na tecnologia ZigBee é desenvolvida para solucionar os defeitos de monitoramento e de sistema de alarme existentes. No sistema sem fio, todos os dados são transmitidos através de um método sem fio. De acordo com os autores, a utilização desta tecnologia permite a transmissão sem fio de dados protegendo os sinais dos sensores de interferências e sistema proposto possui pouco volume e peso.

Em [27], o autor mostra uma interessante aplicação que trabalha com serviços voltados para o universo da mobilidade. Um dos objetivos do trabalho foi o de utilizar para o desenvolvimento desta aplicação, a plataforma para aparelhos móveis, Android, do Google, trabalhando alguns dos conceitos desta tecnologia. A aplicação VaDeOnibus, desenvolvida no trabalho faz uma consulta de linhas de ônibus que o usuário pode utilizar para ir do ponto onde se encontra, até um local de destino especificado. O autor destaca que a aplicação apresenta potencialidades que candidatam ela para servir a outros trabalhos relacionados aos serviços baseados na localização, e voltados para o contexto dos dispositivos móveis.

2.4 Conclusão

Nos últimos 20 anos, muito se tem feito no desenvolvimento de tecnologias de comunicação sem fio. No que tange essas novas tecnologias, nota-se que estão se tornando a principal forma de conexão entre pessoas. É esperado que em breve um terço da população mundial usará dispositivos de acesso sem fio para se comunicar [1]. Em vários países desenvolvidos, a comunicação de voz sem fio vem substituindo a infraestrutura cabeada. O número crescente de tecnologias de acesso sem fio, assim como o progressivo lançamento de dispositivos móveis, são os responsáveis por essa tendência em várias regiões do globo.

Durante essa última década, vários trabalhos, artigos, pesquisas e protótipos foram criados para se fazer uso de tecnologias de comunicação sem fio por meio das redes ZigBee,

Wi-Fi e GPRS. Observou-se no presente capítulo, que muitas aplicações foram desenvolvidas visando prover serviços confiáveis e de qualidade em vários setores da sociedade.

Com integração dessas tecnologias, deu-se o início da pesquisa de soluções e propostas que viabilizem o uso de duas ou mais redes de comunicação e transmissão de dados. Observou-se que muitos dos trabalhos realizados nessa área utilizaram no máximo de duas de tecnologias de comunicação sem fio por meio das redes ZigBee, Wi-Fi e GPRS. Em muitos artigos e trabalhos, há a citação para trabalhos futuros, de criação de protótipos e sistemas que promovam a utilização dessas e outras tecnologias em conjunto.

Essa dissertação de mestrado propõe a utilização conjunta de tecnologias de comunicação sem fio.

Capítulo 3

Solução Embarcada para Integração de Redes Heterogêneas.

3.1 Introdução

Neste capítulo serão apresentados os detalhes da arquitetura do sistema desenvolvido. Descrevendo os componentes de *hardware e software* utilizados na implementação do sistema embarcado chamado de GPRSx. Inclui-se também a justificativas das escolhas dos demais dispositivos além da implementação do conjunto de protocolos elaborados usados para integrar os diferentes padrões de redes sem fio, tais como: IEEE802.15.4 ZigBee, IEEE802.11 Wi-Fi e IEEE802.20 GSM/GPRS.

3.2 Elementos do Sistema

A arquitetura do sistema de comunicação sem fio heterogênea proposta neste trabalho, apresenta vários elementos, sendo o principal uma solução embarcada, portátil, denominada GPRSx. Este dispositivo é o integrador dos diferentes padrões de tecnologias de comunicação sem fio abordado nesta dissertação. A Figura 3.1 mostra, de forma sistêmica, a arquitetura desenvolvida destacando a operação integrada de vários dispositivos móveis.

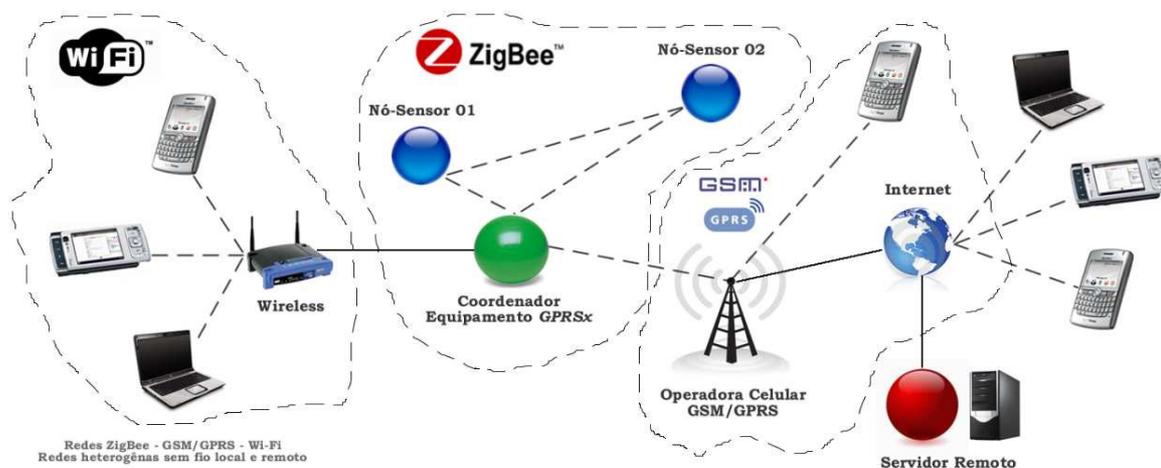



Figura 3. 1 – Arquitetura de comunicação do sistema de comunicação desenvolvida.

Os subsistemas destacados na Figura 3.1 (Wi-Fi, ZigBee e GSM/GPRS) são padrões conhecido e possuem suas especificações de *hardware* e protocolo definidos.

Já o dispositivo GPRSx foi idealizado e construído para atuar como integrador do vários sistemas sem fio. É o nó principal do sistema e realiza as funções de integração, gerenciamento de fluxo de dados, controle na rede bem como assume a responsabilidade da comunicação com um servidor(es) para a difusão e disponibilização das informações através da Internet. A Figura 3.2 apresenta a arquitetura de *hardware* do GPRSx.

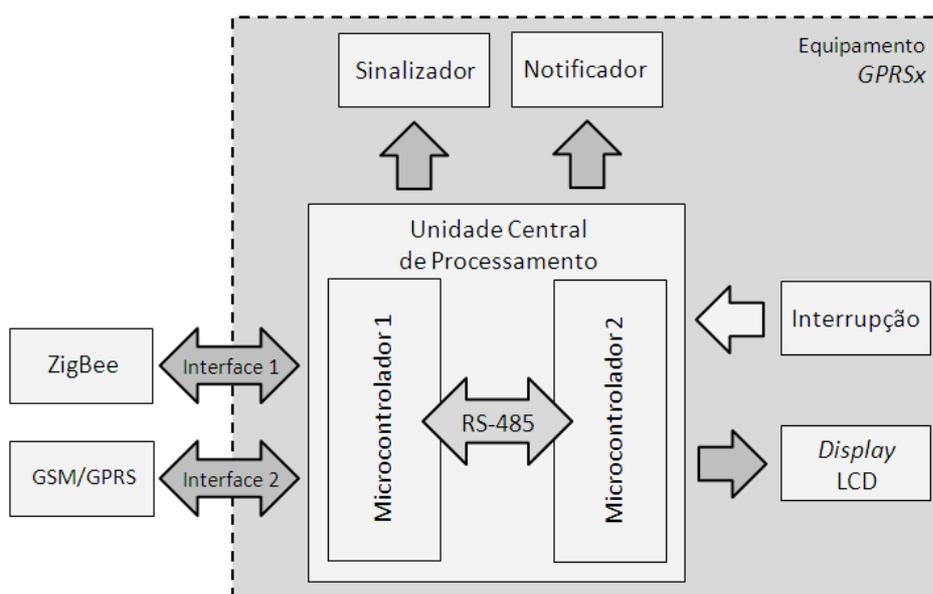



Figura 3. 2 - Arquitetura de Hardware do GPRSx.

Como visto na Figura 3.2, a estrutura embarcada é composta por diversos módulos interligados a uma unidade central de processamento. O GPRSx foi projetado para operar com dois sistemas microcontrolados[1]. Um dos microcontroladores é denominado de *Processador operacional* e outro de *Processador de dados,* ambos são partes da unidade central de processamento *(CPU)* conforme indicado na Figura 3.2. Por esta arquitetura, ambos os microcontroladores compartilham instruções operacionais com objetivo de se obter melhor desempenho global do sistema. Para isso, entre um microcontrolador e outro existe um barramento de comunicação do tipo RS485 que, por meio desse, realiza-se a troca de instruções de controle para a operação do GPRSx. Esse sistema distribuído de compartilhamento de tarefas do sistema entre processadores diminuem a sobrecarga na

[1] Na Versão atual do *GPRSx,* os microcontroladores utilizados foram o dsPIC30F3014.

execução e processamento de cada processador, fazendo com que cada um tenha processamento dedicado ou especifico.

As seções a seguir serão descrito alguns dispositivos que integram o *hardware* do GPRSx.

3.2.1 Processador Digital de Sinais (DSP)

O *processador digital de sinais (DSP)* vem do inglês *"Digital Signal Processing"* e pode definir tanto o processador quanto o processo em si. Diferente dos processadores genéricos na sua arquitetura de *hardware, software* e no conjunto de instruções otimizado para o tratamento digital de sinais [28].

As características do microcontrolador da família dsPIC são melhores descritas no *datasheet* encontrado na referencia desta dissertação

3.2.2 O dsPIC30F3014

O dsPIC30F3014 possui as seguintes características:

- 48 kbytes de memória de programa, valor suficiente para realização das rotinas implementadas pelo programa;
- 2 kbytes de memória RAM, o que possibilita o uso de variáveis tipo float;
- 2 porta de comunicação, que permite a conexão de equipamentos externos;
- Módulo I2C, utilizado na comunicação com o banco de memórias;
- Conversor analógico-digital (A/D), com entrada de até 13 canais;
- Modo de operação com *Clock* de Tempo Real (RTC) interno;

A pinagem deste microcontrolador pode ser observada na Figura 3. 3.

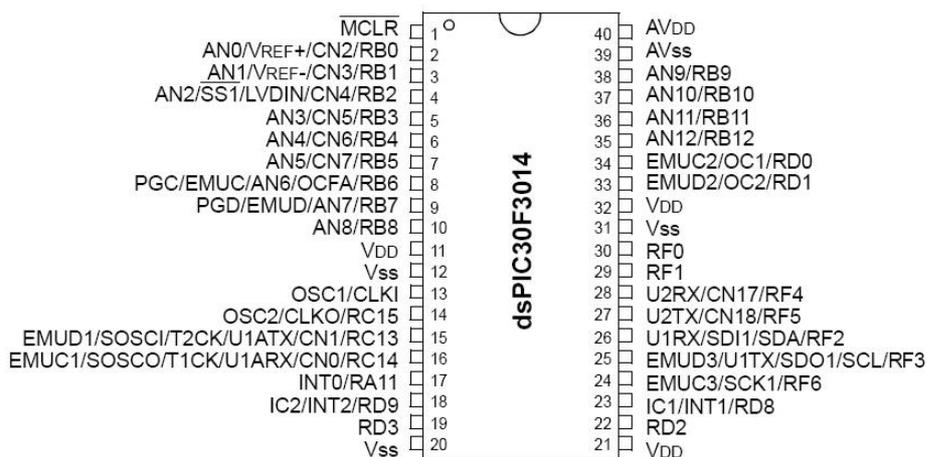



Figura 3. 3 - Pinagem do microcontrolador dsPIC30F4014.

3.2.3 Oscillator (Oscilador)

O oscilador fornece ao processador a noção do tempo. Um oscilador com freqüência de oscilação mais rápida faz com que o processador realize suas operações mais depressa. Um oscilador nada mais é do que o componente que determina o ritmo do processamento de um processador [28].

Para a freqüência de operação do sistema proposto, utilizou-se de um cristal de oscilador de 20MHz externo ligados em seus respectivos pinos do microcontrolador, ciclo de instrução suficiente para a operação das tarefas operacional do sistema para a integração das interfaces de comunicação sem fio.

3.2.4 Comunicação UART do dsPIC

O módulo *Universal Asynchronous Receiver Transmitter* (UART) é um componente que realiza uma comunicação serial nos processadores digitais de sinais *dsPICs.* É um método de comunicação *full-duplex,* ou seja, com dois canais de comunicação independentes que podem operar ao mesmo tempo. Também é assíncrona, determinando que essas duas vias de comunicação sejam sincronizadas. Ambas são totalmente independentes, mas só trabalham com a mesma taxa de transferência e o mesmo tamanho de dados [28].

Esse módulo de comunicação contém três componentes principais: O módulo de configuração da taxa de transferência (*Baud Rate Generator*), o módulo de transmissão (*UART Transmitter*), o módulo de recepção (*UART Receiver*).

O módulo “BRG” (*Baud Rate Generator*) possui um bloco para gravação da taxa de transmissão de 16 *bits,* o *UART Baud Rate Generator.* Esse valor necessita ser calculado para a configuração desse módulo de comunicação. Conforme o cálculo:

$$UxBRG = (Frequência\ do\ cristal\ (Hz)/[16 * Taxa\ de\ transferência\ (bps)]) - 1$$

Para a configuração da taxa de transferência do sistema GPRSx, utilizou a freqüência do cristal de 20MHz operando com 9600 bps.

$$UxBRG = \left(\frac{20000000}{(16*9600)}\right) - 1 = 129{,}2083 = 129 \qquad (3.1)$$

O módulo de Transmissão: o coração do módulo de transmissão da *UART* é o *Transmit Shift Register (UxTSR)*que tem a função de adquirir os dados vindos do *buffer* de transmissão, o *UxTXREG.* O registro *UxTSR* não será carregado até que o último *bit* do dado (*stop bit*) da última carga tenha sido enviado. Quando esse *bit* for transmitido, o registrador *UxTSR* é carregado com um novo dado contido no registrador *UxTXREG,* se este estiver disponível [28].

Existem duas formas de interrupção que podem ser geradas durante o evento de transmissão de dados pela *UART.* A primeira ocorre quando um dado é enviado do *buffer* de transmissão para o registro (*UxTSR*). A segunda é muito parecida, porém, neste caso, após essa operação o *buffer* de transmissão estar vazio.

O módulo de Recebimento: Neste caso, no módulo de recebimento da *UART,* nos processadores digitais de sinais *dsPICs,* a parte fundamental é o seu registro de descolamento, o *Receive* (*Serial*) *Shit Register (UxRSR).* Os dados recebidos pelo pino *UxRX* são enviados ao bloco de recuperação dos dados. O bloco de recuperação dos dados trabalha a uma taxa de 16 vezes a taxa de transferência, enquanto o deslocador serial de recepção opera com a taxa de transferência. Ao receber o *stop bit,* o dado recebido que está no *UxRSR* é transferido para o *buffer* de recepção (se ele estiver vazio) [28].

Existem três formas de interrupções que podem ser geradas durante o evento de recepção de dados pela *UART.* A primeira acontece quando um dado é transferido do registro de deslocamento (*UxRSR*) para o *buffer* de recepção. A segunda ocorre uma maneira semelhante, porém, após essa operação, o *buffer* deve conter três ou quatro caracteres. A terceira é da mesma forma, porém após essa transferência ela sinaliza se o *buffer* de recepção estiver cheio.

Essas interrupções que ocorrem durante o processamento são necessárias para atender uma determinada informação solicitada, sejam instruções do processador vizinho, mudança de estado nas portas de entrada e saída do microcontrolador ou mesmo dados provenientes da *RSSF e/*ou rede GPRS. O sistema realiza a verificação detalhada da informação recebida em seu *buffer* no caso de uma interface de comunicação, após identificá-la e interpretá-la executa de imediato o evento recebido. Com o uso correto das interrupções é possível executar "algumas" tarefas quase que ao mesmo tempo. Porém, em muitos casos, quando não se tem o problema de analisar várias entradas ao mesmo tempo, não há, portanto, a necessidade de usar uma interrupção. Sendo assim, é necessário compreender que o uso das interrupções se faz necessário quando se tem de realizar algumas tarefas importantes, quase que ao mesmo tempo, e não se tem o controle de quando elas ocorrerão.

Também pode-se usar as interrupções para diminuir o consumo do microcontrolador. Se nada está acontecendo, pode-se colocá-lo para "dormir" (modo Sleep). Assim o consumo é reduzido, e somente quando uma interrupção é gerada ele volta ao modo normal, processa a interrupção e volta a "dormir". Geralmente aparelhos portáteis utilizam este tipo de recurso, pois são alimentados por baterias e o consumo é sempre crítico.

3.2.5 Barramento de Comunicação RS485

O uso desse tipo de comunicação é pelo fato de se trabalhar em modo diferencial, seja, a diferença entre as tensões na linha dirão se o *mestre*[2] está transmitindo 1 ou 0.

Sua escolha para esse propósito foi devido apresentar imunidade a certas interferências, principalmente por se estar perto dos demais componentes eletrônicos do sistema GPRSx tais como: fonte de alimentação, *cooler* e outros.

A RS485 suporta a comunicação half-duplex e full-duplex sendo que para a primeira ha à necessidade da utilização de um cabo par-trançado enquanto que a segunda são necessários dois pares de cabos. Este tipo de comunicação alcança grandes distâncias. Pode-se chegar até 1200m/9600 bps.

O barramento de comunicação 485 é composto de dois fios, sendo um destes chamados de A e o outro de B. A Tabela 3.1 mostra os estados lógicos da linha A e B de acordo com o dado que o transmissor quiser enviar:

[2] Este meio utiliza a estrutura mestre-escravo onde há uma máquina que faz a pergunta e os escravos respondem de acordo com o frame que estiver com o mesmo endereço ajustado no escravo.

Tabela 3. 1 - Driver

Entrada	Controle	Saída	
D	DE	A	B
H	H	H	L
L	H	L	H
X	L	Z	Z

Descrição da Tabela 3.1
H = High (Alto);
L = Low (Baixo);

Ressalta-se que quando o transmissor (Entrada D) fica em alto, a linha A fica mais positiva que a B e o inverso ocorre quando o estado inverte. Nota-se que também há uma linha de controle chamada DE e quando a mesma fica em nível lógico baixo, o barramento fica em alta-impedância.

Para que o receptor identifique um sinal válido, a diferença entre os terminais A e B deve ser maior que 200 mV. Entre 200mV e –200mV o sinal não é indefinido.

Esse tipo de comunicação foi empregado no sistema para a comunicação interna entre processadores, sendo utilizado para trocar instruções de comandos entre as tarefas do sistema. Apesar de se estar a uma curta distância, esse tipo de tecnologia minimiza as interferências, que poderão ocorrer provenientes de outros periféricos agregados ao circuito, além de ter a capacidade de incluir novos dispositivos no mesmo barramento de comunicação.

3.2.6 Display LCD

O display de LCD é largamente utilizado em diversos aparelhos eletro-eletrônico com a finalidade de mostrar resultados preliminares ou informações que auxiliem no manejo do aparelho. Os módulos LCD são interfaces de saída muito útil em sistemas embarcados. Estes módulos podem ser do tipo gráfico e a caractere.

Para a visualização das ações do estado do sistema GPRSx utilizou-se de um módulo LCD 20x4 para ajudar a acompanhar os procedimentos decorrente do sistema em operação.

Para colocá-lo em funcionamento, primeiro configura-se, ou seja, dize-se ao display como serão transferidos os dados para ele (8 ou 4 bits), quantas linhas irá utilizar, se a mensagem deve ficar fixa ou rolar, se a escrita será da esquerda para direita ou da direita para esquerda, ou seja, todas essas configurações são necessárias antes de escrever qualquer mensagem. Entretanto, alguns displays podem ser encontrados com led *backlight* (com uma iluminação de fundo) para facilitar as leituras durante a noite. Neste caso, a alimentação deste

led faz-se normalmente pelos pinos 15 e 16 para os módulos comuns e 19 e 20 para os módulos gráficos, sendo os pinos 15 e 19 para ligação ao anodo e os pinos 16 e 20 para o catodo. A corrente de alimentação deste led varia de 100 a 200mA, dependendo do modelo.

Na Tabela 3.2 são mostrados os pinos do display com suas respectivas funções.

Tabela 3. 2 - Pinagem do Módulo Display LCD.

Pino	Função	Descrição
1	Alimentação	Terra ou GND
2	Alimentação	VCC ou +5V
3	V0	Tensão para ajuste do contraste
4	RS Seleção:	1 – Dado, 0 – Instrução
5	R/W Seleção:	1 – Leitura, 0- Escrita
6	E Chip Set	1 ou (1 → 0) habilita, 0 – desabilita
7	B0 LSB	Barramento De Dados
8	B1	
9	B2	
10	B3	
11	B4	
12	B5	
13	B6	
14	B7 MSB	
15	A (Quando existir)	Anodo p/ LED backligh
16	K (Quando existir)	Catodo p/ LED backlight

O display *LCD* é utilizado no sistema GPRSx para informar sobre os processos do sistema, essas informações vão desde a apresentação do sistema até as informações atuais dos dados do sistema, tais como:

- Informações de conexões: Mostram no display se o GPRSx está conectado ou não a operadora e ao servidor.
- Endereço IP do servidor remoto: Mostra o endereço IP de conexão ao servidor.
- Modo de Transmissão: Indica em qual modo de transmissão o GPRSx está configurado para trabalhar.

O anexo mostra as mensagem do sistema GPRSx que aparecem no display.

3.2.7 Interrupções de Entrada

Os botões têm função de iniciar uma ação, como executar e cancelar um comando. Entretanto foram utilizados botões de pressão do tipo normalmente aberto, onde ao pressioná-los enviam um nível de tensão no pino de entrada do microcontrolador *(processador operacional)*, gerando um evento de interrupção no sistema. Ao receber esse sinal em sua respectiva porta de entrada, efetua a ação aquisitada assim como os outros botões do GPRSx. Cada botão tem sua função bem definida na execução das tarefas do sistema.

O GPRSx possui três botões do tipo pressão e um botão contendo duas posições para ligar e desligar o equipamento (GPRSx).

A Figura 3.4 mostra os botões de interrupções existentes no circuito construído e uma breve descrição dos mesmos.

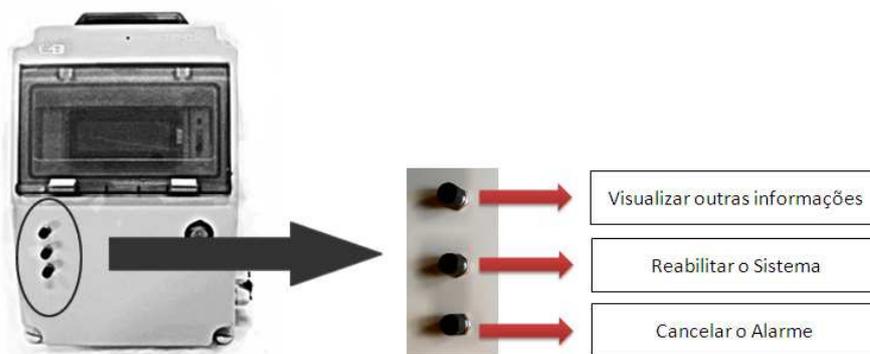



Figura 3. 4 - Interrupções do GPRSx.

- Botão 01: Envia um sinal para o processador "paginar" as informações no módulo display, tais como: Informações sobre o estado de conexões e o status de conexão ao servidor sistema.
- Botão 02: Coloca novamente em atividade o GPRSx após o cancelamento do alarme. Sem a utilização do botão 02 o sistema ficará inoperante, sendo assim não poderá processar nenhuma tarefa, apenas o comando reset através de uma chamada remotamente via GSM ao equipamento.
- Botão 03: É necessário para o cancelamento do modo alarme, pois desativa a tarefa do sistema. O GPRSx após entrar no modo "alarme", dispara a notificação sonora e simultaneamente realiza uma ligação via chamada telefônica GSM ao usuário remoto, e esse cancelamento pode ser realizado de dois modos: Por meio do botão 03, é gerado um evento avisando que o botão foi ou está sendo pressionado fazendo com que o

sistema cancele o alarme, ou de outro modo em que o usuário ao receber uma chamada telefônica do GPRSx cancela o alarme entrando no modo inoperante.

3.2.8 Notificação Sonora

O *GPRSx* conta com vários recursos de *hardware,* um deles é um *buffer,* acoplado ao circuito com função de notificar sobre o certos comportamentos e falhas no equipamento.

A notificação sonora do sistema é um componente de tamanho de uma moeda de um real, composta de duas camadas de metal e uma camada interna de *piezoelétrico*, ao ser alimentado com uma fonte de sinal, vibra na mesma freqüência recebida, funcionando como uma sirene ou um alto-falante.

Existem vários tamanhos e versões, uns com e sem osciladores internos. Todos os dispositivos sonoros de alarmes (como os de automóveis) usam um *buzzer* para o som.

Sua vantagem em relação aos alto-falantes comuns é que o consome pouca energia em relação à potência sonora, sendo facilmente alimentados com baterias. É muito utilizado quando se querem alertar ou avisar sobre a ocorrência de algo, pois, ao emitir um sinal sonoro, é capaz de chamar atenção à distância.

Sua utilização no GPRSx foi devida à necessidade de informar sobre validações e erros no sistema. Como o *EOSx* (Sistema Operacional Embarcado do GPRSx) possui uma tarefa com função de alarme e tem como objetivo de avisar sobre possíveis falha críticas no sistema, uns desses alarmes, é a notificação sonoro do sistema.

3.2.9 Sinalizadores de Estados

Para indicar o estado em que se encontra o sistema ou para checagem sobre a validação das operações tais como: conexão a operadora, servidor, fluxo de dados e etc. Optou-se em utilizar led’s para ajudar na visualização imediata das operações servindo como sinalizadores de estados do sistema GPRSx.

Os led’s são diodos emissores de luz, seu principal objetivo é emitir luz em locais ou em aparelhos ao invés de lâmpadas convencionais que consome mais corrente elétrica e emitem mais calor. São adequados para utilizar como sinalizadores de avisos e entre outros. Existem no mercado diferentes tipos de led’s com tamanhos variados e de diferentes cores. Sua utilização no GPRSx é no acompanhamento funcional de todo o processo, ajuda no comportamento através dos led’s acoplados na estrutura do GPRSx. Os led’s auxiliam na

visualização do funcionamento do sistema. O GPRSx possui três led's para indicar o processamento e um led vermelho de tamanho menor que fica constantemente piscando quando o equipamento está ligado e pronto para funcionar. O led amarelo de dados, pisca e/ou acende quando há fluxo de dados entre o modem GSM/GPRS e GPRSx. O led verde indica que o sistema efetuou com sucesso as validações tais como: Teste de periféricos, conexão a operadora e ao servidor remoto e outros. O led vermelho avisa quando houve erro no sistema, quando não foi possível a validação de suas etapas ou mesmo quando a conexão caiu.

Figura 3. 5 - Indicadores de "status" do sistema GPRSx.

3.2.10 Gestão de Energia

Por se tratar de um computador embarcado, o GPRSx precisa de energia elétrica para alimentar todos os seus componentes eletrônicos de forma adequada. O dispositivo responsável em atender a essa energia é a fonte de alimentação. Uma de suas funções é adequar a tensão de entrada da rede elétrica 110V ou de 220V para uma tensão aproximada do circuito eletrônico. Isso se processa através de um transformador existente na fonte, que ainda converte a tensão alternada para contínua. Através de um regulador de tensão é possível adquirir tensões de 5VDC e 12VDC na saída da fonte.

O circuito do GPRSx trabalha com duas fontes de alimentação, uma construída para atender os módulos de circuito microcontrolados, *led's*, *buzzer*, dentre outros. Fornece corrente de no máximo 1A e com tensões de saída reguladas em 5VDC e 12VDC. A segunda fonte é especialmente dedicada para alimentação do modem GSM/GPRS com corrente de 1A e tensão de 12VDC.

Em se tratando de maior autonomia através do uso de baterias, buscou-se adequar o sistema GPRSx para trabalhar em dois modos de operação: Modo ativado e modo adormecido.

Um dos fatores que levou para esse tipo concepção no desenvolvimento do projeto está relacionado com a redução do consumo de energia elétrica sem haver a perda da disponibilidade do sistema GPRSx durante todo o processo.

No **modo ativado** os dispositivos e os processos do sistema permanecem sempre habilitados consumindo mais energia para trabalharem.

No **modo adormecido** ocorre à hibernação de parte de recursos do sistema, utiliza-se da possibilidade de desligamento de determinadas parcelas dos dispositivos nos momentos em que estas estejam ociosas. Nesse modo o consumo de energia é mínimo (3.1) aumentando a vida útil das baterias embarcadas.

Na Tabela 3.3 são listados os dispositivos que são desligados temporariamente até serem reativados novamente.

Tabela 3. 3 - Estados operacionais dos dispositivos eletrônicos do GPRSx.

Dispositivo	Adormecido
Processador Operacional	Sim
Processador de Dados	Não
Modem GSM/GPRS	Sim
Módulo ZigBee	Não
Display LCD	Sim

O GPRSx utiliza-se de energia proveniente da rede elétrica para recarregar suas baterias quando estão em níveis baixo de funcionamento. Seu cabo de força é ligado a uma tomada de 110V de onde seguem para fontes do circuito. Antes das distribuições da alimentação foi colocado, na entrada da fonte, um circuito protetor, constituído de um fusível de 1A, onde limitam o acúmulo de correntes acima disto, devido a curtos-circuitos que venham ocorrer internamente ou externamente.

A autonomia de funcionamento do GPRSx quando está com as baterias é de 2.4 horas no modo ativado.

A expectativa de vida da bateria é dada por:

$$TBateria = \left(\frac{Volts * Amperhora}{Potência}\right) \quad (3.2)$$

Logo,

No modo de operação *Ativado:*

$$TBateria = \frac{12V * 4A}{20W} = 2.4horas \quad (3.3)$$

No modo de operação *Adormecido:*

$$TBateria = \frac{12V * 4A}{8W} = 6\,horas \tag{3.4}$$

De acordo com a carga da bateria, é possível estimar o tempo de funcionamento do sistema.

3.2.11 ZigBee

O padrão ZigBee IEEE802.15.4 foi desenvolvido pela ZigBee Alliance junto ao IEEE *(Institute of Electrical and Electronics Engineers)*, através da associação de várias empresas com objetivo de desenvolver um padrão de baixo consumo energia, baixo custo, robusto, seguro, confiável e de padrão aberto.

Opera na faixa de freqüência ISM *(Industrial,Scientific,andMedical)* de 2,4GHz (exceção dos EUA e Europa) sem a necessidade de licença de uso.

Os modos usados neste trabalho são da *MaxStream,* que desenvolveu uma linha de módulos *ZigBee* chamada **XBee.** O XBee são módulo pequenos, mas completo, transmissor/receptor. Há disponível no mercado em duas versões criada pela MaxStream: o XBee e o XBee-Pro. São versões semelhantes e extremamente compatíveis entre si.

Há três versões com opções de antena para o XBee:

1) Com antena vertical integrada (chicote). Basicamente, permite direcionar o feixe.
2) Com um conector para antena externa.
3) Integrada no chip. Neste caso a energia radiada não é direcional.

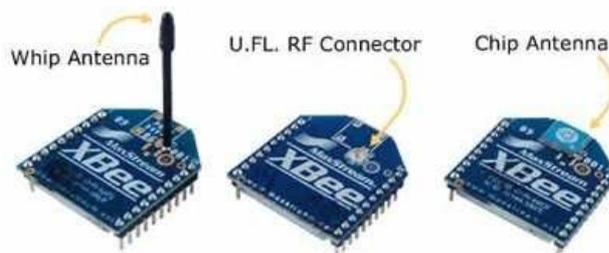



Figura 3. 6 - As três versões de antenas.

O módulo **XBee-Pro** por padrão vêm ajustado de fábrica para funcionar em broadcast, por isso não precisa de grandes configurações para se estabelecer a comnicação entre dois módulos. Contudo, para a definição de endereços há de se configurar os módulos por

comandos AT ou API, para isso deve-se interfacear com um pequeno circuito conversor para ligar a porta serial ou USB e utilizar um *software* X-CTU, disponibilizado pela MaxStream®, no qual há um terminal de comunicação com uma aba de leitura de sinal e uma aba de configuração do módulo. Dentro da qual pode-se atualizar o *firmware* do módulo e, também, configurar o módulo através de uma interface visual (sem a utilização de comandos AT).

Esses módulos já vêm configurados para serem usado sem grandes dificuldades, o mínimo que precisa fazer é estabelecer um link de comunicação e alimentá-los com uma tensão de 3.3 Volts.

As principais características e diferenças entre os módulos XBee/XBee Pro estão listados na Tabela 3.4 e 3.5.

Tabela 3. 4 - Desempenho.

Especificações de Desempenho	XBee	XBee-Pro
Alcance Indoor/Urbano	Até 30m	Até 100m
Alcance Outdoor em linha visível	Até 100m	Até 1500m
Potência máxima de transmissão	1mW (0 dBm)	60mW (18 dBm)
Taxa de dados interface serial	115,2 Kbps	115,2 Kbps
Taxa de dados de RF	250 Kbps	250 Kbps
Sensibilidade do Receptor	-92 dBm	-100 dBm

Tabela 3. 5 - Requisito elétrico.

Especificações Elétricas	XBee	XBee-Pro
Tensão de Alimentação	2.8 -3.4 V	2.8 -3.4 V
Corrente de Transmissão	45mA (@ 3.3 V)	139 -227 mA(@ 3 V)
Corrente de Recepção	50mA (@ 3.3 V)	55mA (@ 3.3 V)
Corrente em modo Sleep	< 10 µA	< 10 µA

Optou-se em trabalhar com os módulos **XBee-Pro** ao invés dos Módulos **XBee**, apesar de possuir um custo mais elevado, esses módulos propagam o sinal com maior alcance na transmissão de dados. É adequada para a utilização no sistema, visto que, a proposta dessa dissertação é a construção de um dispositivo móvel e esses módulos têm melhor sinal para ambientes abertos e fechados.

Em se tratando de topologia, a tecnologia da rede *ZigBee* possibilita três tipos diferentes:

- Estrela;
- Arvore;

- Malha.

Entretanto, a topologia empregada na *RSSF* para o funcionamento da comunicação com sistema GPRSx foi a topologia em malha. Esta topologia permite que, com a entrada de novos dispositivos, a rede se ajuste automaticamente durante sua inicialização, otimizando o tráfego de dados. Com essa topologia é possível construir redes mais extensas e de maior complexidade, possibilitando o controle e monitoramento de grandes áreas.

Essa topologia pode ser alterada através de configuração no *firmware* do Módulo **XBee-Pro.** Para isso utiliza-se o software X-CTU da *MaxStream* para configurar todos os parâmetros do módulo, atualizar o firmware entre outras funcionalidades.

Para a utilização dos módulos foram configurados os seguintes itens no programa X-CTU:

- A tecnologia *ZigBee* permite que outras redes funcionem em um mesmo ambiente sem interferir uma com a outra, bastando para isso configurar o **ID_PAN** com identificação diferente.

- Sua taxa de transmissão para interface serial está definida em 9600 bauds para todos os módulos XBee-Pro, assim como todas as outras tecnologias de comunicação do sistema.

- Como toda rede *ZigBee* tem de ter um nó-coodernador para funcionar, e como GPRSx é o centro da rede responsável pela interligação dos vários sistemas, este (GPRSx) foi definido como o coordenador através da seguintes configurações nos parâmetros do firmware:

- **AP** (API Enable) – Modo de funcionamento do XBee Pro. Pode funcionar, por exemplo, como um nó coordenador que se comunica com todos os outros módulos ZigBees, ou também como um nó que se comunica apenas com seu coordenador;

Na área de redes e segurança, os mais importantes são:

- **ID_PAN:** 3332; Identificação da Rede
- **MY** (Source Address) – Endereço fonte do módulo ZigBee (16 bits);
- **DL** (Destination Address Low) – Primeiros 32 bits (de 64 bits) do endereço destino do módulo *ZigBee;*
- **DH** (Destination Address High) – Os 32 bits mais significativos (de 64 bits) do endereço do módulo ZigBee;
- **NY** (Node Identifier) – Armazena o nome de identificação do dispositivo.

Em relação ao consumo de energia, estão listados abaixo os registradores utilizados:

- **SM** (Sleep Mode) – Define se o dispositivo entra no estado Sleep ou não;

- **ST** (Time Before Sleep) – Se estiver com o modo SM habilitado, define o tempo de funcionamento antes de entrar no estado Sleep;
- **SP** (Cyclic Sleep Period) - Se estiver com o modo SM habilitado, define o período entre um estado Sleep e o próximo.

Já com os registrados de I/O, apenas um pino foi necessário:

- **D0** (DIO0 Configuration) – Pino de I/O que pode funcionar de diversas formas, inclusive como conversor analógico/digital.

Esses parâmetros configurados acima servem para os demais nós-sensores da rede, dessa forma seguem o mesmo valor lógico, pois a topologia em malha pode seguir vários caminhos pela rede. Cada módulo possui um endereço físico diferente em seu *firmware* e o que se altera é o somente o endereço lógico. Os demais parâmetros do módulo como as portas de entrada e saída digitais, ADs e outros, não estão sendo usado no sistema.

A Figura 3.7 ilustra a topologia de rede e como estão configurados os parâmetros dos módulos XBee-Pro.

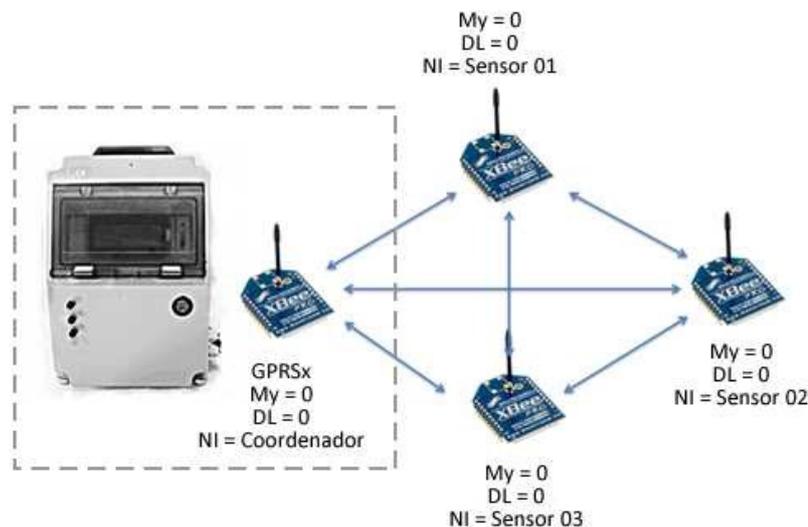



Figura 3. 7 - Topologia e Configuração dos Módulos XBee-Pro.

O módulo **XBee-Pro** está configurado para se comunicar com o microcontrolador dsPIC30F3014 (*Processador de dados*) através de uma interface serial (TX e RX). A tensão de tolerância dos pinos do **XBee/XBee-Pro** é de 2,8V a 3,4V. Se o dispositivo a ser interfaceado com o módulo usar uma tensão diferente do restante do circuito do GPRSx, é preciso usar conversores de níveis de tensão.

Para que ocorra a comunicação apropriada entre os dispositivos, foi reduzido a tensão de entrada no pino 3-RX da UART do módulo XBee-Pro através de um divisor de tensão,

constituído por dois resistores com valores de 20kΩ e 10kΩ, pois a tensão de alimentação do módulo fica em torno dos 3V.

Para a comunicação serial, deve-se observar se os dois módulos UART's estão com as mesmas configurações de:

- Baud Rate;
- Paridade;
- Start Bits;
- Stop Bits;
- Data Bits;

Quando não há dados sendo transmitidos, o sinal estará em nível baixo, à espera.

Os módulos são identificados na rede por meio de três configurações:

1) Canal **(CH);**
2) Pan ID (**ID**);
3) Endereço (**SL, SH, DL, DH, MY);**

Os módulos só se comunicaram se possuírem o mesmo Canal, o mesmo Pan ID, e endereços compatíveis.

O uso da tecnologia *ZigBee* dentro da arquitetura proposta nessa dissertação, possibilitou a construção uma solução de integração reunindo todos os dados da *RSSF* com disponibilidade dos mesmo em qualquer lugar do mundo através de um ponto de acesso a redes mundiais de computadores.

3.2.12 Redes GSM/GPRS

O Sistema **GSM** (*de Global System for Mobile Communications, ou Sistema Global para Comunicações Móveis*) foi desenvolvido para garantir boa qualidade de voz, baixo custo, compatibilidade com a rede ISDN e *roaming* por toda a Europa. No entanto, GSM cresceu muito e hoje é usado por mais de 200 países em todo o mundo.

O GSM possibilita diversos serviços como troca de dados e é um padrão aberto bastante disseminado. É uma tecnologia móvel de transmissão sem fio de forma digital, por isso é chamado de tecnologia 2G (segunda geração) que utiliza conjuntos de freqüências para realizar a transmissão de dados entre células (pontos da rede). O problema é que a segunda geração de celulares preparou-se para oferecer telefonia digital, mas não para acessar a

internet. A internet transporta dados por pacotes, através do protocolo IP e, para que a rede móvel seja adaptada à internet, é preciso que os dados sejam organizados também em pacotes [29].

Foi criada então a tecnologia **GPRS** *(Serviço Geral de Pacotes por Rádio)* que é uma tecnologia com maiores taxas de transferência de dados quando comparada com redes GSM. A tecnologia permite o transporte de dados por comutação por pacotes, onde a informação é dividida em grupos, relacionados entre si, antes de ser transmitida e remontada no destino. A essência da rede GPRS é estar sempre conectada, onde os dados são enviados e recebidos sempre que necessário.

O GPRSx tem a finalidade de possibilitar o tráfego de dados por pacotes para que a rede de telefonia celular seja integrada à internet. O sistema GSM com o GPRS integrado recebeu o nome de geração 2.5G, sendo uma evolução importantíssima para a comunicação de dados móvel. O GPRS permite taxas de transferência em média de 40 kbps.

A Figura 3.8 representa a comutação de circuitos e de pacotes na rede GSM.

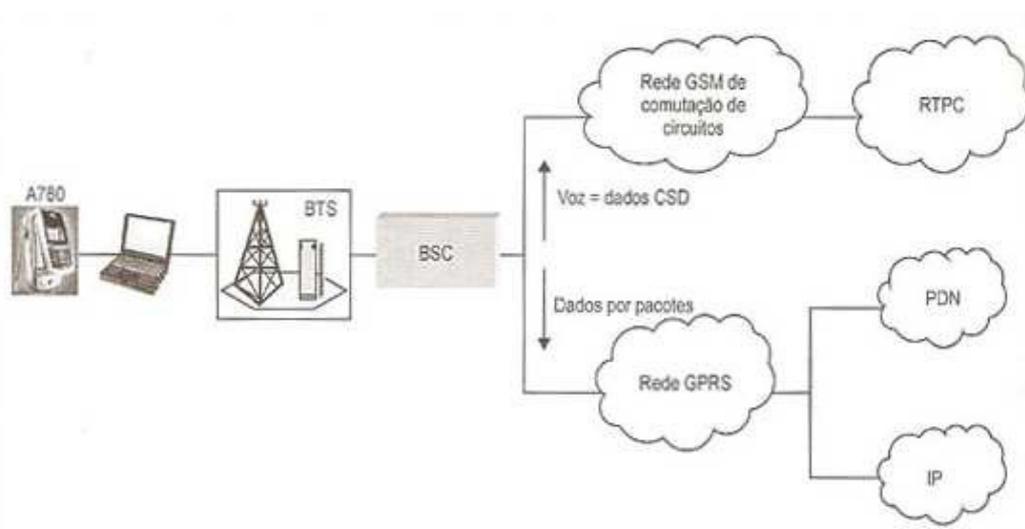



Figura 3. 8 - Comutações de circuito e de pacotes nas redes GSM e GPRS [29].

A técnica permite que vários usuários compartilhem os mesmos recursos, aumentando assim a capacidade da rede e permitindo uma gerência razoavelmente eficiente dos recursos. Ademais, a disponibilidade e grandes áreas de cobertura são vantagens do GPRS. Portanto, para que seja possível a utilização de serviço de comunicação de dados das operadoras celulares através da tecnologia GPRS dentro da arquitetura proposta nesse trabalho, foi utilizado de um modem GSM/GPRS da Motorola.

Este modem possui conexão a cabo por meio de uma comunicação serial RS232 podendo ser projetados para ser usado com microcontroladores ou em computadores.

Permitindo, ao usuário, se conectar a internet, enviar e receber mensagens SMS ou realizar chamadas telefônicas em qualquer parte do mundo. No que se refere ao custo de utilização, as linha telefônicas convencionais tem um preço elevado comparado à tecnologia GPRS para transmissão de dados. As tarifas são cobradas por minuto de conexão, ou seja, pelo tempo de conexão estabelecida mesmo que os dados não sejam trafegados, além de não possuir mobilidades, tem as limitações dos fios e cabos telefônicos (meio físico).

Com a utilização dos serviços de dados móveis GPRS no sistema GSM, a tarifa é baseada no volume de dados enviados e recebidos, e é independente de tempo de conexão e, por serem transmitidos por sinais de rádio, não precisariam de uma infra-estrutura cabeada.

As operadoras celulares possuem uma ampla cobertura facilitando o acesso em locais que jamais poderiam ser utilizados fios e cabos para transmissão.

A comunicação é realizada serialmente através do padrão RS232 do modem conectados a um conversor de nível[3] para que sejam ser ligados as portas da UART's dos microcontroladores dsPIC30F3014 do sistema GPRSx.

Para se comunicar com modem o microcontrolador deve possuir as mesmas configurações na porta serial.

O modem inicia com controle de fluxo ativado (ou seja, precisa ter os pinos CTS e RTS conectados além de TX e RX). Se o cabo de conexão utilizado estiver usando apenas os pinos TX, RX e GND, deve-se desabilitar o controle de fluxo através do comando AT&K0.

O modem usado neste trabalho, vem com padrão configurado para operar em velocidade de 9600 bauds, podendo ser alterado para outras velocidades entre 300 bauds a 115.200 bauds. Porém, toda vez que se desliga o modem, ele volta a sua velocidade inicial padrão.

A transmissão de dados via GPRS depende da rede, limitada a 85.6 kbps e opera na freqüência GSM 850/1900 MHz.

Sua fonte de energia é alimentada na entrada por uma tensão entre 90 a 260 VAC e uma saída de tensão de 12VDC conectados ao modem. A fonte fornece uma intensidade de corrente elétrica de aproximadamente 1A.

Suas dimensões físicas são de 103mm de comprimento, 70mm de largura e 28mm de altura, tamanho adequado para estrutura física projetada para abrigar o restante do circuito de *hardware* do sistema, com um peso de 200g facilita a mobilidade do equipamento em geral.

[3] Conversor de nível no caso o MAX232, que é um circuito eletrônico que converte sinais de um porta serial para sinais adequados para uso em circuitos microprocessadores.

O modem recebe uma série de comandos AT’s para efetuar suas ações, pois é uma linguagem de comandos orientados por linhas. Todos os comandos são constituídos por três elementos:

- O prefixo (AT), o corpo do comando;
- Caracter de fim de comando ou terminação

É possível digitar mais de um comando numa mesma linha, podendo separá-los por espaços para facilitar a leitura. Os espaços são ignorados pelo interpretador de comandos do modem, mas estão incluídos na contagem de caracteres na linha de entrada.

Na maioria dos modems, o *buffer* de linha de comando aceita até 39 caracteres, incluindo os caracteres A e T caracteres. Espaços, retorno de carro e qualquer caracter de alimentação de linha não entram no *buffer* e não contam em relação a limitação de 39 caracteres. Se mais de 39 caracteres são inseridos ou um erro de sintaxe é encontrado em qualquer lugar na linha de comando, o modem retorna um código de resultado de erro e a entrada do comando será ignorada [30].

As respostas que o modem apresenta são:

- OK: Comando executado, sem erros;
- ERROR: Comando inválido ou muito extenso

A Tabela 3.6 lista as descrições de alguns comandos importantes realizado pelo microcontrolador para aquisição do serviço GPRS e entre outros como SMS e chamada telefônica. Esses comandos são alguns dos procedimentos de configuração ao modem que o microcontrolador efetua antes de transmitir dados.

Tabela 3. 6 - Principais comandos AT's utilizados no sistema.

Comandos	Resposta/Ação	Descrição
AT	OK ERRO	Sincronismo
AT&K0	OK ERRO	Reset o Modem
ATE0 ATE1	OK ERRO	Desabilita o eco Habilita o eco
AT+MIPON AT+MIPOFF	OK ERRO	Liga e Desliga o Modem
AT+CGPRS	+CGPRS: 0 +CGPRS: 1	Indica se há disponibilidade de cobertura da rede GPRS: 0 = indisponível, 1 = disponível
AT+CBAUD=”x”	OK	Configura a taxa de comunicação da porta serial:

		para x = 5 – Taxa de 9600 bps
MIPCALL		Realiza a conexão PPP GPRS e retorna o IP recebido.
AT+MIPCALL=<Operação>, "<APN>","<Username>", "<Password>"	+MIPCALL:<local IP address> OK ERROR	- Caso a reposta seja OK a conexão foi realizada com sucesso. - Caso a reposta seja ERROR a conexão não foi realizada com sucesso. - Os campos APN, Username e Password são limitados a 20 caracteres cada.
+MIPODM=<Socket_ID>, <Source_Port>, <Destination_IP>, <Destination_Port>,<Protocol>	+MIPOPEN:<Socket ID>,<State> OK ERROR	- caso a reposta seja OK, o socket foi aberto com sucesso. - caso a reposta seja ERROR, o socket já estava aberto. • protocolo: 1 = UDP, 0 = TCP • state: 1 ativo , 0 inativo • socket_ID: 1 ou 2
+++ (100ms entre cada '+')	OK	O modem interrompe a transmissão de dados, passa para modo de comandos e passa a interpretar todos os caracteres que forem introduzidos como comandos.
AT+MIPCLOSE=<Socket ID>	+MIPCLOSE:<SocketID> OK ERROR	- Caso a reposta seja OK, o socket foi fechado com sucesso. - Caso a reposta seja ERROR, o socket já estava fechado.
AT+MIPCALL=<Socket ID>	+MIPCLOSE:<SocketID> OK ERROR	- Caso a reposta seja OK, o conexão GPRS foi fechado com sucesso. - Caso a reposta seja ERROR, a conexão já estava fechado.
RING		- Chamada em linha
NO CARRIER		- Ligação não estabelecida ou desligada
AT+CBC		Verifica o nível de bateria do Modem

Posteriormente ao GPRS, veio a tecnologia EDGE de maior velocidade, e em seguida veio o padrão 3G, com taxas bem mais elevadas de transmissão de dados. Entretanto, por questões de custo/benefício, a tecnologia GPRS é a mais utilizada na comunicação de dados. Como a tecnologia GPRS utiliza a estrutura montada na rede GSM, sempre que se fala em transmissão de dados pela telefonia celular por GPRS, costuma-se referir-se à ela pela sigla "GSM/GPRS".

3.3 Software

Nesse tópico são descritos os vários *softwares* que compreende o núcleo dessa dissertação de mestrado. Eles tiveram que ser escritos em diversas linguagens para permitir o funcionamento da arquitetura de integração entre diferentes tipos de redes de comunicação, bem como a programação nos microcontroladores, a aplicação servidora, as páginas WEB, etc.

3.3.1 Software Embarcado *EOSx*

Um sistema embarcado é um sistema microprocessado no qual o computador é completamente encapsulado ou dedicado ao dispositivo ou sistema que ele controla/monitora. Diferente de computadores de propósito geral, como o computador pessoal, um sistema embarcado realiza um conjunto de tarefas predefinidas, geralmente com requisitos específicos. Uma vez que o sistema é dedicado a tarefas específicas, através de engenharia pode-se otimizar o projeto reduzindo tamanho, recursos computacionais e custo do produto [31].

Para o gerenciamento operacional da unidade central de processamento foi desenvolvido um *software* embarcado capaz de realizar as tarefas do sistema, que foi gravado em memória (*flash*) dos microcontroladores. Entretanto, o sistema operacional em tempo real denominado de "*EOSx",* atua no gerenciamento do sistema do GPRSx como um todo e trabalha na divisão de operações entre *microcontroladores.* Cada processador trabalha simultaneamente e troca informações de instruções quando estão no modo de operação *ativado*. O *EOSx* efetua os procedimentos de comunicação com o modem GSM/GPRS utilizando o *processador operacional* ao mesmo tempo; o *processador de dados* espera por uma resposta de instrução de liberação para atuar na transmissão e recepção de dados da *RSSF* para o servidor.

É responsabilidade do *processador operacional* todo o procedimento de abertura do canal de comunicação ao servidor, pois o mesmo trata problemas e falha na conexão, alerta ao *usuários* sobre erros detectados no sistema durante a realização das tarefas, assim deixando de forma apropriado para a transmissão e recepção dos protocolos na rede.

O *EOSx* utiliza mecanismos para comunicação e sincronização entre os processos e provê meio para evitar esta espécie de erro. Essa sincronização entre os processadores se processa pela distribuição de tarefas específicas no sistema. Desta maneira o *processador de dados* apenas se preocupa com o tratamento das informações, validação dos protocolos e

empacotamentos dos dados para o servidor enquanto o *processador operacional* preza pela integridade do sistema mantendo sempre em operação e atuando diretamente com demais dispositivos de *hardware* do GPRSx.

As tarefas do sistema seguem um número de seqüências pré-definidas para a validação de etapas do *EOSx* e são de grande importância para o completo funcionamento. Algumas destas tarefas são divididas entre processadores que se encarregam e atende de forma dedicada e/ou independente para alcançar seus objetivos esperados. Esses processos são executados simultaneamente em cada um dos dois microcontroladores existente no GPRSx, havendo por parte de cada um notificar um evento solicitado ou ações inesperados do sistema.

No diagrama da Figura 3.8, são apresentadas algumas das principais tarefas do "*EOSx*" em que o sistema GPRSx executam de forma eficiente.

Figura 3. 9 - Conjuntos de tarefas do *OSEx*.

A seguir são descritos a função de cada um das tarefas do *ESOx* apresentados na Figura 3.9.

---

1. Inicialização:

- Primeira tarefa do *OSEx* ao ser ligado o processador operacional do sistema GPRSx. Realiza as apresentações e informações do equipamento em display de LCD para consumir tempo necessário enquanto aguarda o modem GSM/GPRS e o demais dispositivos se carregarem.

---

2. Sincronização:

- Tarefa responsável em sincronizar o modem através de seus comandos "AT's", Desabilita o "eco" dos comandos enviados evitando a ocorrência de interrupções duplicadas desnecessária para o sistema. Essa tarefa ainda não garante a validação dos testes entre os periféricos do sistema.

3. Detecção do Sistema ou Verificação do funcionamento do sistema:

- Essa tarefa realiza a identificação de ocorrências de falhas antes de prosseguir para as tarefas restantes, por exemplo: a abertura de comunicação com a operadora celular. Esses testes de detecção de periféricos se realizam devido ao desenvolvimento de um agente encarregado em monitorar as interrupções do *OSEx* e que adotam como resposta verdadeira ou falsa para as seguintes situações:
  - **Verdadeira:** Resultado validado com sucesso, devido o modem GSM/GPRS ter respondido pelos comandos solicitados pelo sistema.
  - **Falsa:** Ocorrências de falhas possíveis para esse caso são: Cabo de conexão com o modem solta ou corrompida, modem queimado ou problemas na fonte de alimentação.

4. Conexão:

A validade desta etapa prossegue para a tarefa descrita abaixo.

- **Operadora:** Etapa de conexão para abertura do serviço de comunicação de dados GPRS da operadora celular, necessário para disponibilidade dos dados na internet. Esta tarefa se encarrega de conectar o sistema GPRSx a operadora por meio da discagem de conexão. Entretanto foi programado para cinco tentativas de discagem antes de gerar uma falha para o sistema, pois, em certas ocasiões, não acontece a conexão nas primeiras tentativas devido à disponibilidade do serviço, baixo nível do sinal de rádio ou mesmo ausência de créditos para custear o serviço (Há a checagem inicial de créditos antes de se iniciar o serviço).

- **Servidor:** Tarefa que interliga o sistema GPRSx à aplicação servidora. São definidos o endereço IP do servidor e a porta da aplicação, em casos

de não encontrar o servidor na rede, é gerado uma falha pelo sistema *OSEx*.

5. Alarme:

- É umas das tarefas que não seguem uma seqüência pré-definida no *OSEx*, pois sua função é chamada quando ocorre falhas e erros no GPRSx. Esta tarefa é descrita no tópico *Notificadores do Sistema*.

6. Interrupções:

- Rotina de alta prioridade dentro das tarefas do *OSEx*, é responsável em atender os eventos de comunicação interna e externa.

7. Dados:

- Principal tarefa do processador de dados que, por meios das interrupções, o processador trata e analisa os protocolos realizando a checagem nos bits de validação, separação dos dados de seus respectivos nós da rede e encaminha para o servidor e vice versa.

A Tabela 3.7 mostra todas as tarefas do *ESOx,* o processador onde se realiza o processamento e o nível de prioridade no sistema.

Tabela 3. 7 - Conjunto de Objetos do *ESOx.*

Tarefa	Processador	Prioridade
Inicialização	Processador Operacional	Pré-definida
Sincronização	Processador Operacional	Pré-definida
Detecção	Processador Operacional	Pré-definida
Operadora	Processador Operacional	Pré-definida
Servidor	Processador Operacional	Pré-definida
Alarme	Processador Operacional	Não definida
Dados	Processador de Dados	Alta Prioridade
Interrupção	P. de Dados e P. Operacional	Alta Prioridade
Reset	Processador Operacional	Baixa Prioridade

O “*OSEx”* foi projetado para identificar e tratar possíveis eventualidades inesperadas do sistema, tais como: falha na conexão, falha na detecção de dispositivos na etapa de inicialização, servidor não encontrado e outros. O diagrama da Figura 3.10 mostra a relação dos usuários com o sistema GPRSx após ocorrência falhas dentro de seus conjuntos de tarefas.

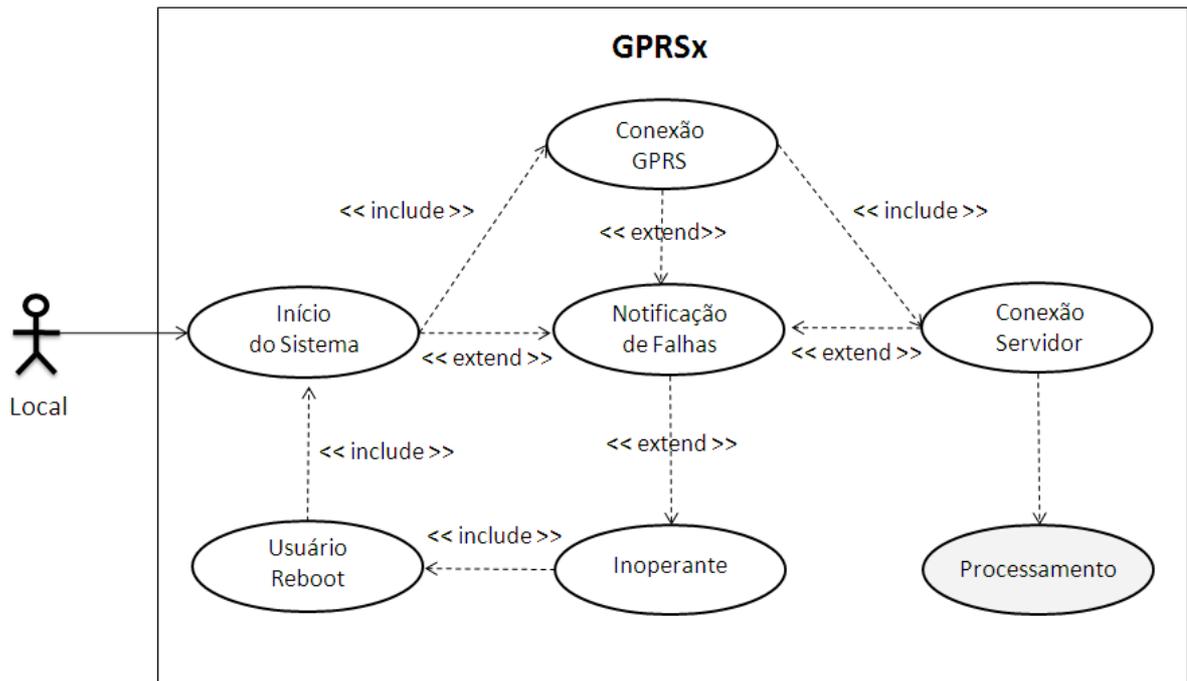



Figura 3. 10 - Diagrama de caso de uso do sistema de alarme.

Foi implantado um agente inteligente no *ESOx* para detectar constantemente erros de funcionamento do sistema. Uma de suas funções é de notificar o *“OSEx”* sobre o ocorrido assumindo novas atitudes diante de tais casos. Existem três situações de falhas possíveis que fazem com que o sistema entre no modo alarme:

---

1. Situação – Falha ao detectar os periféricos do sistema.

- A primeira situação ocorre no caso o modem não responder a comandos enviados pelo *processador operacional* na execução da tarefa “*Detecção*”. Esta função encarrega-se de testar a comunicação entre os terminais. Diante disso há algumas possibilidades de ocorrência de falhas, tais como:

a) Cabo de comunicação desconectado ou rompido.

---

b) A fonte de alimentação do modem não ligou ou queimou.

c) Problemas de funcionamento do modem.

2. **Situação** – Estouro de tentativas de conexão a operadora celular.

- Na tarefa *"Operadora"* o sistema está preparado para cinco tentativas de conexão para abertura do serviço de comunicação de dados GPRS, entretanto ultrapassando o total de tentativas definidas e sem a existência de conexão entre os terminais, entrará no modo *"Alarme"* pela à ocorrência de problemas como:

1. **Problema –** Créditos insuficientes.

Antes de prover o serviço GPRS, a operadora checa se o SIM Card possui créditos suficientes para abertura do canal de comunicação. Pois a operadora não irá perder tempo processando sabendo que não terá crédito para custear o serviço, logo não irá se conectar gerando uma falha na conexão entrando no modo "Alarme" do sistema.

2. **Problema –** Sem sinal de rádio ou sinal de nível baixo.

Esta situação acontece quando o GPRSx se encontrar em locais totalmente fechados como elevadores, estacionamentos, entre outros ou mesmo fora da área de cobertura da operadora celular. Da mesma forma não conseguirá abrir a conexão ocasionado uma falha para o sistema.

3. **Problema** – A operadora não suporta o serviço.

O problema é um evento pouco provável nos dias atuais, pois as maiorias das operadoras celulares já dispõem do serviço de dados GPRS. Entretanto, não se pode descartar a possibilidade dessa ocorrência, por ocasião de o serviço estar fora do ar.

3. **Situação** – Servidor não encontrado.

Quando o GPRSx, ao tentar se conectar com o servidor remoto, não consiga. Neste caso existem várias possibilidade de acontecimentos tais como:

- Servidor não está online.
- IP do servidor errado.
- Porta da aplicação bloqueada.

Diante de todas essas situações, *"OSEx"* vê como um sistema de falha crítica, pois analisa como uma invalidação das etapas seqüenciais pré-definidas. Perante disto, a tarefa assumida em prioridade é o *"Alarme"*, que é uma função de falha do sistema em que se encarrega em avisar de imediato, utilizando para isto dois mecanismos que age simultaneamente com o objetivo de alerta a falha no sistema entre os quais:

1. Alerta – Notificadores do sistema.

O GPRSx emitem sons alertando que ocorreu uma falha no sistema. Esses sons partem do equipamento através de um dispositivo chamado de "buzzer" incorporado no hardware, fazendo com que alerte até certa distância. É possível conferir do que se trata visualizando o módulo display situado na parte frontal do equipamento.

2. Alerta – Ligações telefônicas.

Realiza chamadas telefônicas via rede GSM aos seus respectivos usuários operacionais responsável pela manutenção do GPRSx. Essas ligações são efetuadas por chamadas a cobrar, visto que, umas destas falhas podem ser devido à falta de crédito para prover o serviço.

O usuário ao atender remotamente por essa chamada saberá do que se trata, pois basta rejeitar a ligação que o sistema cancelará o alarme do equipamento sem a necessidade de aceitar a chamada, pois para o sistema fica subentendido que conseguiu avisar sobre o ocorrido.

Outra função é a de reinicialização total do sistema para que tente novamente estabelecer as etapas essenciais ao sistema. Isso pode ser realizado através de uma ligação telefônica ao sistema GPRSx sem haver a necessidade da presença no local. A Figura 3.11 mostra o diagrama de relação entre o usuário e o sistema através de chamadas telefônicas remota.

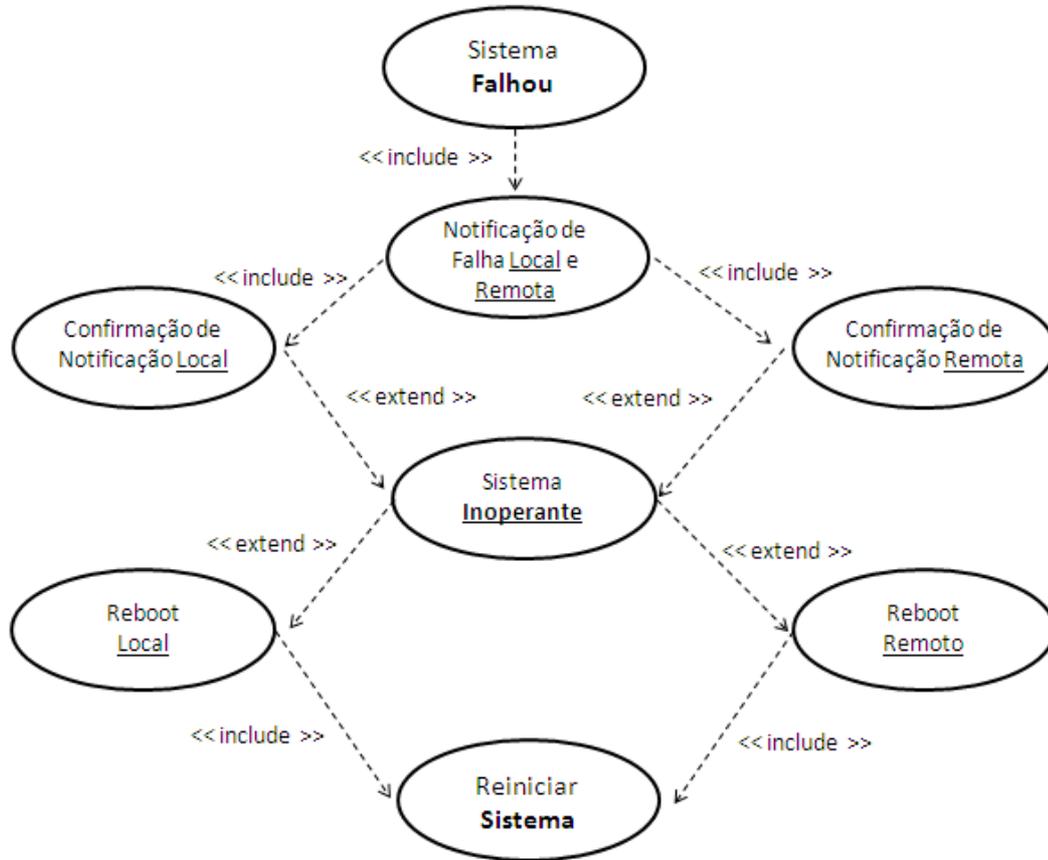



Figura 3. 11 - Diagrama de caso de uso de chamadas remotas.

A seguir serão apresentados a atuação de cada processador dentro do sistema *EOSx,* suas funções específicas e o fluxograma de funcionamento.

3.3.2 Processador de Dados

É um dos processadores *(microcontrolador)* da unidade central de processamento do sistema GPRSx que realiza uma determinada tarefa específica dentro das quais é responsável em tratar as informações tanto da *RSSF* como da rede *GPRS* da operadora celular.

Seu objetivo é atuar diretamente com os dados da rede, é encarregado de receber e transmitir através das interfaces de comunicações existentes no sistema. Alivia o *Processador operacional* a tarefa de direcionamento das informações da rede deixando apenas o controle e gestão operacional.

Na Figura 3.12 mostra o fluxograma de funcionamento inicial do sistema, pois ao ser ligado o GPRSx, inicia-se no modo *adormecido.* Para entrar em operação e começar a

processar os dados da rede, espera por um protocolo de comando de controle proveniente da *RSSF* para entrar no modo *operacional* (ativado). Enquanto isso o GPRSx trabalha com hibernação de recursos com apenas um microcontrolador "*Processador de dados*" e o módulo de comunicação *ZigBee*.

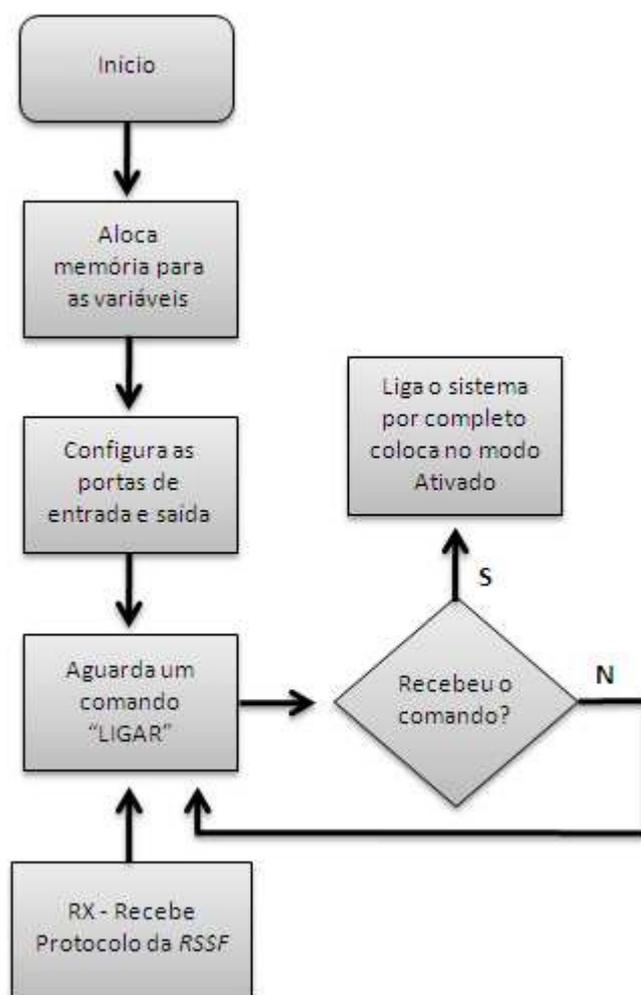



Figura 3. 12 - Fluxograma do Processador de dados para Ativação do Sistema.

Na Tabela 3.9 são apresentados os protocolos de comandos de controle do GPRSx e suas funções no sistema.

Tabela 3.9 - Protocolo de Comando

Protocolo	Função
RCCMD#1#1*	Liga o equipamento GPRSx
RCCMD#1#0*	Desliga o GPRSx
RCCMD#1#3*	Reseta o sistema
RCCMD#0#0*	Teste de Comunicação
RCCMD#2#1*	Cancela o Alarme

RCCMD#3#1*	Habilita para uma nova conexão
RCCMD#4#1*	Muda as opções de visualização do display LCD
RCCMD#5#1*	Habilita o modo escrita.
RCCMD#5#0*	Habilita o modo comando e desabilita o modo escrita
RCCMD#6#1*	Habilita a transmissão de dados pela rede

Um exemplo é ao receber o comando *"ligar"* através de um de seus protocolos de controle. Neste caso, é gerada uma interrupção saindo do processo *"Espera"* como mostrado na Figura 3.13. O microcontrolador colocará em modo ativado fazendo com que o *"Processador operacional"* assuma as demais tarefas do *"EOSx"*.

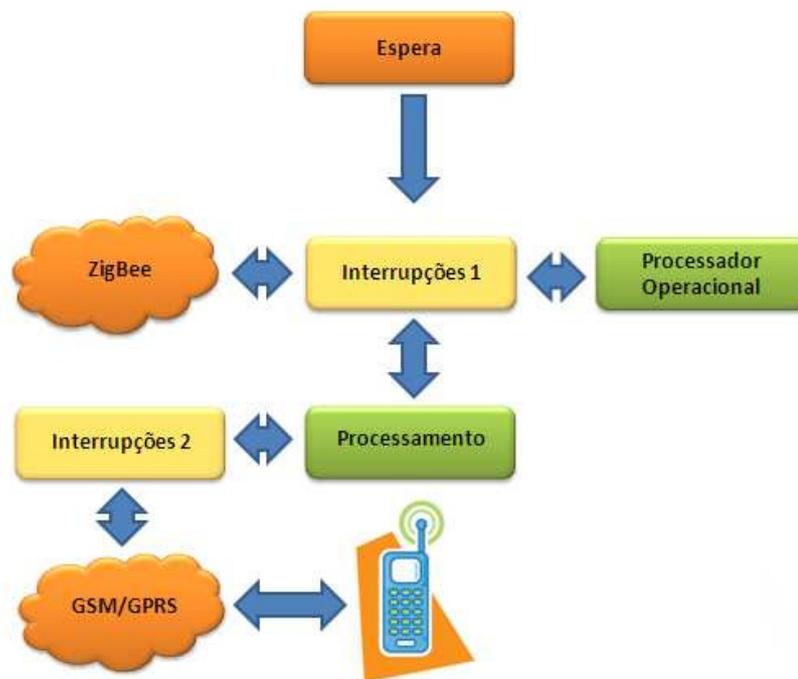



Figura 3. 13 - Estrutura de funcionamento do Processador de dados.

Ao ligar o equipamento GPRSx, o microcontrolador *processador de dados* entra e permanece no loop do processo *espera,* aguardando um protocolo de controle na *interrupção 1* vindo da *RSSF ZigBee* , na qual identifica o protocolo de controle e dependendo do comando inicia o *processador operacional.*

Como o microcontrolador utilizado neste sistema tem disponíveis duas UARTs (interfaces de comunicação), para cada uma há uma interrupção independente onde podem ser definidos níveis de prioridades.

1. Interrupção:

Está conectado o módulo *ZigBee,* onde recebe os dados que serão tratados. Essa interrupção é exclusiva para o atendimento da *RSSF* dentro do processador.

2. Interrupção:

É conectada a interface de comunicação com o modem GSM/GPRS, onde o mesmo é compartilhado com o *processador operacional.* Cabe ao *processador de dados* apenas a recepção e transmissão de dados das redes e não o procedimento de conexão, falhas e outros eventos que poderão ocorrer.

O quadro **processamento,** como ilustra a Figura 3.12 anterior, o *processador de dados* permanece após entrar no modo *ativado* tratando os dados e controle proveniente das interrupções descrito anteriormente.

É de extrema importância o *processador de dados,* pois a limitação do tamanho dos dados na rede está diretamente relacionada com a taxa de transmissão de cada interface de comunicação e com a quantidade também da memória de armazenamento do microcontrolador, pois os dados da rede, ao chegarem ao GPRSx, são guardados temporariamente em um *buffer* antes de serem transmitidos ao servidor remoto. Na seção *protocolo* é apresentada a forma como são tratados os dados e a maneira de como protocolo integra as diferentes de redes.

3.3.3 Processador Operacional

É o processador responsável gerenciar a maior parte dos recursos do sistema, sua principal função é manter o sistema em operação, executa as ações para colocar o sistema GPRSx em funcionamento na rede da operadora celular, se encarrega de cumprir as tarefas pré-definidas, verificar e tratar os periféricos acoplado ao *hardware* tais como: Display LCD, interrupções, sinalizadores de estados, notificação do sistema e interface de comunicações interna e externa.

O *processador operacional* é dedicado à gestão de tarefas para preparar o serviço e garantir ao *processador de dados* a possibilidade de comunicação. Sua operação inicia após uma mensagem de inicialização por parte do *processador de dados* que aguarda pelo *processador operacional* um retorno de liberação para iniciar a transmissão de dados, após ter completado a abertura do serviço de comunicação GPRS, para a transmissão e recepção de dados pela rede como ilustra a Figura 3.14.

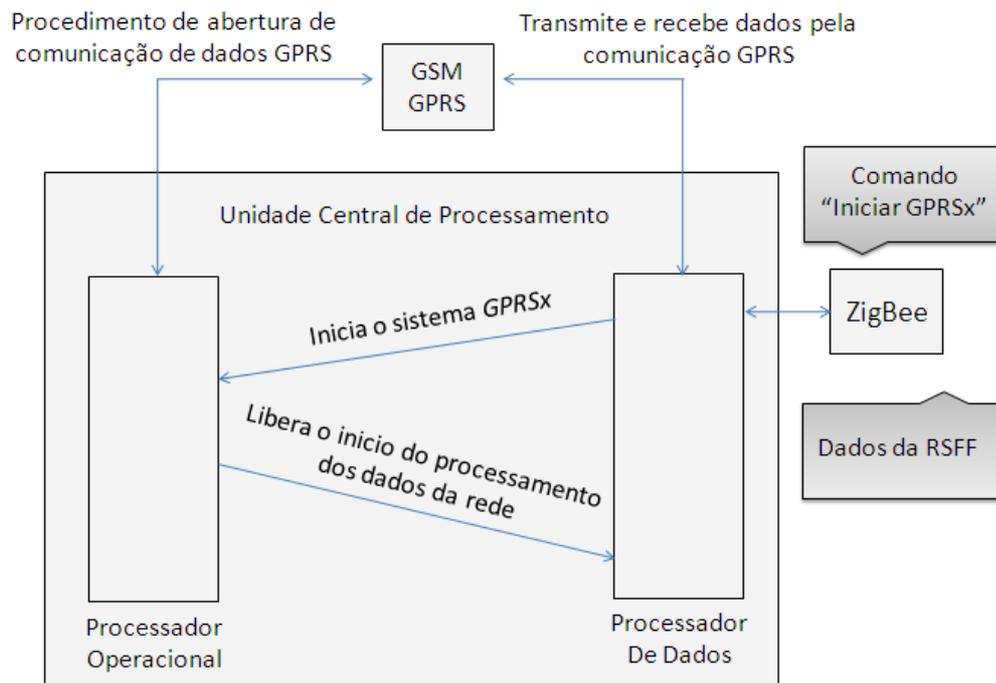



Figura 3. 14 - Procedimentos de instruções entre microntroladores.

Sua comunicação se realiza por meio de duas portas seriais, *UART*, a primeira utiliza a interface RS232 entre o modem GSM/GPRS e a outra RS485 entre o segundo processador do sistema.

No fluxograma da Figura 3.15 ilustra o procedimento de como *processador operacional* efetua suas etapas no sistema.

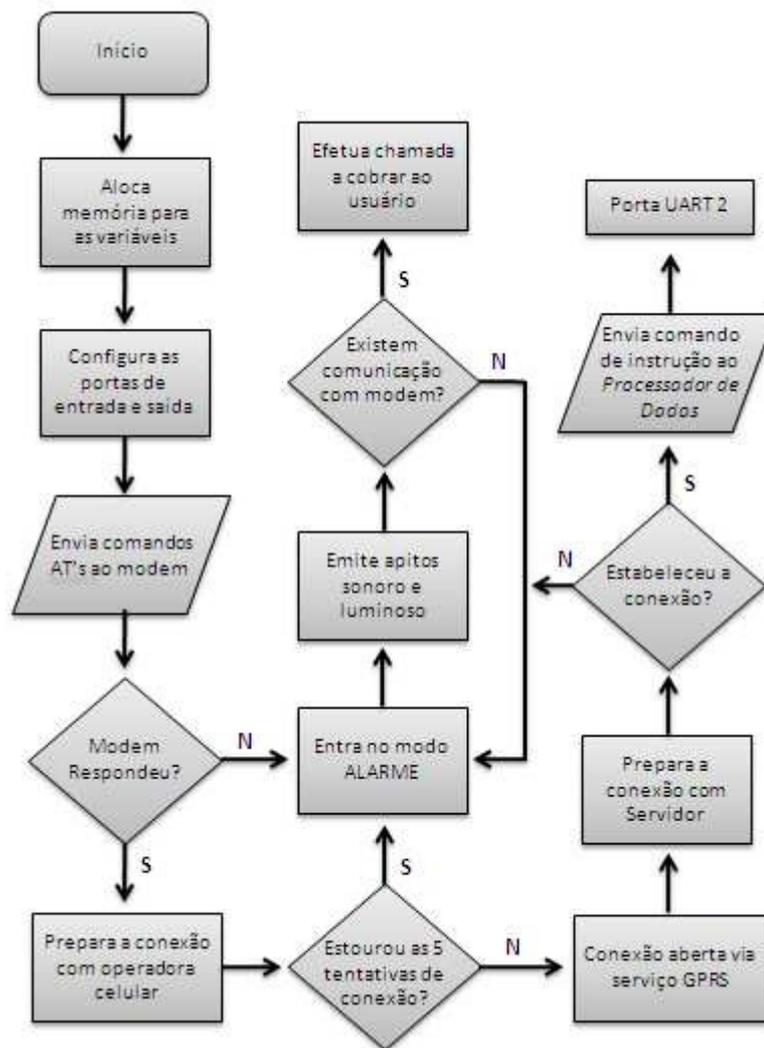



Figura 3. 15 - Fluxograma de Tarefas do Processador Operacional.

O *processador operacional* somente funciona no modo *ativado,* não é de sua responsabilidade tratar os dados da rede, realiza apenas o controle. Acumula à maior parte das tarefas do *OSEx*. Na Figura 3.16 mostra a seqüência das tarefas pré-definidas e as interrupções do sistema realizadas no "*processador de dados"*.

Figura 3. 16 - Fluxograma das tarefas.

3.4 Protocolo

Protocolo é um conjunto de padrões de comunicação. No contexto de telecomunicações, protocolo é um conjunto formal de convenções que regulam o formato e o sincronismo da troca de mensagens entre dois sistemas de comunicação [32].

A solução da construção do protocolo que serão discutidas a seguir é baseada em uma linguagem própria compreendida entre os dispositivos.

3.4.1 Construção do Protocolo

A construção de um protocolo é importante, pois nela estão contidas as informações e regras que estabelecem a comunicação entre sistemas. Por meio da implementação de um conjunto de protocolo se faz possível a integração das diferentes tecnologias de comunicação aqui proposto.

A Figura 3.17 mostra a arquitetura do protocolo de comunicação construído para atender os diferentes padrões IEEE 802.15.4 ZigBee e IEEE 802.20 GSM/GPRS na transmissão dos dados pela rede.

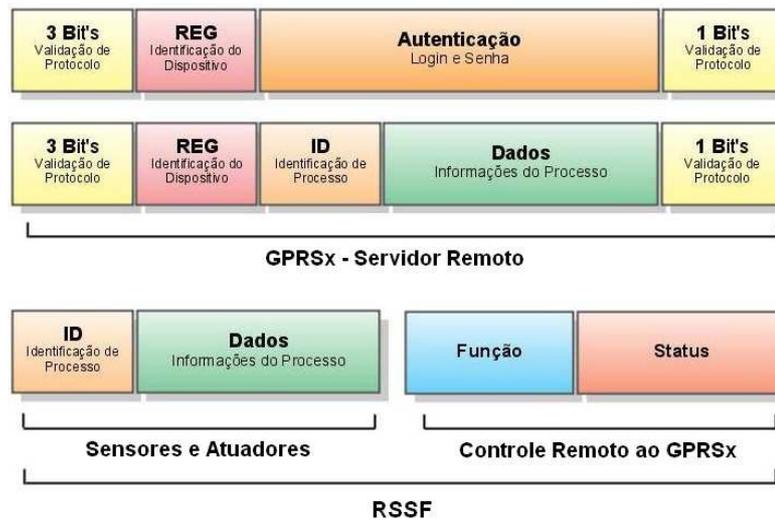



Figura 3. 17 - Diagrama de conexão de periféricos do GPRSx.

Para sistematizar uma forma de transmissão de dados por meio do serviço GPRS, foi desenvolvida uma arquitetura de comunicação geral para atender diversos dados de processos simultaneamente. Entretanto, foi necessário definir o formato dos quadros e a regras a serem seguidas através de uma estrutura de protocolo, que se encarregue de compartilhar os dados da rede e estabelecer a comunicação entre o GPRSx e o servidor. O GPRSx nó-central da *RSSF* é responsável em gerenciar, transmitir e receber os dados proveniente dos demais nós-sensores da *RSSF*. Em um primeiro momento, houve necessidade da construção de um protocolo simples entre a *RSSF* e o GPRSx (proveniente de dados de sensores e/ou atuadores) que pudesse identificar os nós e separar os dados aquisitados. Contudo, o GPRSx (especificamente o *processador de dados*) é capaz de receber essas informações e anexar em uns dos quadros definidos na Figura 3.18, realizando posteriormente a identificação referente ao nó e seus respectivos dados. Por tanto, o protocolo implementado no GPRSx, definido em quadros (ou frame), contendo as informações:

- Quadros de autenticação;
- Identificação do equipamento *"*GPRSx*";*
- Identificação do nó - sensor da *RSSF;*
- As informações dos dados dos nós-sensores;

Esse último depende do tipo de informação e operação do equipamento, podendo existir, por parte do GPRSx, um pré-processamento desses dados para que se adeque e empacote em seu protocolo antes de serem transmitidos.

Outro protocolo existente é o controle remoto ao equipamento GPRSx, onde cada nó-sensor poderá enviar comandos de controle remoto (Tabela 3.9). Assim, não há a necessidade de se estar próximo para a operação do equipamento, pois com as definições desses protocolos tanto de dados quanto de controle, o *processador de dados* do sistema consegue identificar as informações, processá-las e executá-las de forma transparente ao usuário.

3.4.2 Protocolo RSSF

Cada nó-sensor da *RSSF* possui uma identificação, seja por meio de seu endereço. Pois há a necessidade de se conhecer/saber de onde se originam os dados, pois, como pode existir uma *RSSF* com vários nós-sensores, é necessário identificá-los na rede.

Um exemplo é quando se transmite uma informação de dados de temperatura de um ambiente através de um sensor x ao coordenador central da rede (GPRSx). Até então, sem problema nenhum, pois existe apenas um nó-sensor responsável em coletar as informações de certo locais; mas se houver no mesmo ambiente dois ou mais nós-sensores coletando dados de diferentes locais e transmitindo ao nó-coordenador da rede, como poderiam ser identificados? visto que, todos são dados de sensores de temperatura com informações e locais diferentes do ambiente.

Para solucionar esse problema na identificação do nó-sensor, buscou-se um mecanismo para que a existência de dois ou mais nós na rede sejam identificados pelo sistema GPRSx. Com a construção de um protocolo de comunicação entre os nós-sensores e o GPRSx já se tem idéia de como são definidas algumas regras, dentre as quais a implementação de um cabeçalho contendo a identificação de seus respectivos nós e um quadro com as informações de dados de sensores como mostra a Figura 3.18.

Figura 3. 18 - Arquitetura de protocolo de comunicação dentro da RSSF.

Deste modo cada nó da rede teria sua identificação no sistema GPRSx, onde o mesmo se encarrega de empacotar essas informações e transmiti-las até um servidor remoto por meio da internet utilizando a interface GPRS.

3.4.3 Comunicação via GPRS

Depois da construção do protocolo de comunicação na *RSSF,* já é possível identificar o processo e armazenar os dados em memória para serem transmitidas até o servidor do sistema.

O GPRSx processa e transmite esses dados da *RSSF* utilizando a comunicação GPRS da operadora móvel disponibilizando esses dados na rede mundial de computadores e, através de uma aplicação servidora, é possível receber e transmitir remotamente.

Os dados de sensores e/ou atuadores de diferentes nós da rede, ao chegarem no *processador de dados* do sistema GPRSx*,* realizam a verificação do cabeçalho do protocolo identificando em um primeiro momento de onde e qual nó ou processo se originaram esses dados. Para cada identificação de um nó, é alocado um *buffer* para posterior armazenamento desses dados.

Logo após, esses dados são colocados na memória desse nó em ordem de chegada. Da mesma forma ocorre para os demais protocolos provenientes de outros nó-sensores existentes na rede.

O GPRSx*,* ao entrar em *modo ativado* e com as etapas de conexão estabelecidas com sucesso, estará pronto para se comunicar através do serviço da operadora, pois essa comunicação de dados via GPRS irá está sempre conectada e disponível para transmitir e receber dados. O GPRSx somente transmitirá se houver dados em *buffer* na saída da porta de comunicação, pois como foi colocado no parágrafo anterior, os dados dos respectivos nós da rede vão chegando e armazenados para depois serem protocolados antes de sua transmissão definitivamente para o servidor.

A Figura 3.19 ilustra como o *processador de dados,* ao receber o protocolo, direciona cada informação de dados de sensores/ou atuadores em seus respectivos *buffer* conforme a identificação do nó-sensor.

Para a transmissão desses dados armazenados em cada *buffer* do processador, por meio da comunicação GPRS, define-se uma nova regra de protocolo destinado agora para a comunicação com o servidor.

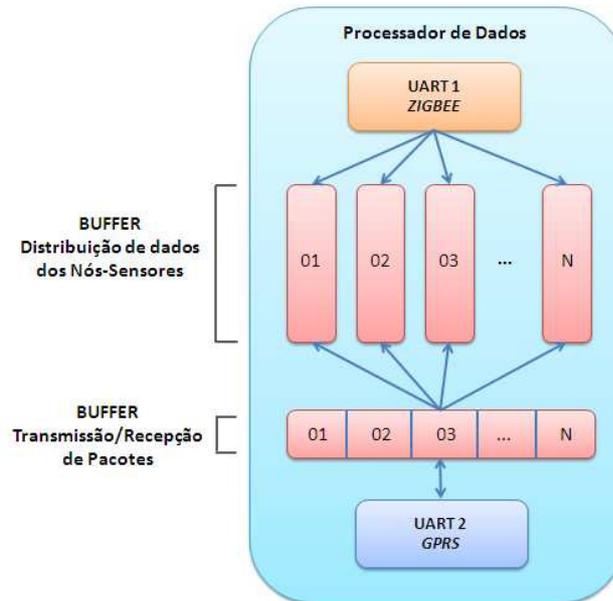



Figura 3. 19 - Armazenamento de dados em buffer no processador de dados.

O *processador de dados* ao recebe uma informação pela porta de comunicação, verifica se o que recebeu é um protocolo válido ou não, se for, processa e armazena os dados em *buffer,* senão descarta e aguarda por um novo protocolo da rede. Toda vez que é identificado um protocolo válido, o sistema se prepara para protocolar o formato para serem transmitidos, pois basta um protocolo de um determinado nó-sensor para que estes sejam repassados para o servidor remoto.

Como cada nó-sensor possui um *buffer* para armazena os dados que chegam, também há um *buffer* de saída para armazenar os dados enfileirados após o processo de empacotamento. Esse processo funciona da seguinte maneira:

O sistema verifica constantemente se há dados em todos os *buffers* do *processador de dados*, se existirem em um ou mais, irá realizar o processo de empacotamento de dados no protocolo seguindo os critérios como ilustra a Figura 3.20.

Figura 3. 20 - Protocolo de comunicação entre o *GPRSx* e o Servidor.

Todos os dados de um nó-sensor são colocados na estrutura do protocolo como ilustrado a Figura 3.20. Este protocolo se destina a transmissão do GPRSx ao servidor, assim

como para os demais nós de tal forma que, ao colocarem no *buffer* da porta de saída da comunicação, após o processo de empacotamento todos os protocolos, são concatenados na ordem de chegada fazendo com que se tornem uma grande mensagem a ser transmitida.

Uma melhor explicação disso pode ser visualizada da seguinte forma:

Para cada nó da rede há um protocolo; Todos os nós funcionam (em termos de protocolo) da mesma forma. No final todos os protocolos dos nós são concatenados ser tornando um grande protocolo contendo todos os nós-sensores.

Devido às limitações na taxa de transmissão do modem GSM/GPRS, tópico detalhado mais a frente em *"Limitações de hardware",* somente são possíveis a transmissão no intervalo de tempo de aproximadamente um segundo. Devido a esse atraso na transmissão, os dados da *RSSF* que estão chegando no "GPRSx" vão sendo armazenados em *buffer* no exato momento em que a comunicação GPRS está ocupada no processo de transmissão. Diante disso, os dados que estão em *buffer* vão sendo processados e empacotados em protocolo e colocados no *buffer* de saída para que sejam transmitidos na próxima sequência de dados que não foram transmitidos naquele intervalo de tempo.

3.4.4 Descrição dos Quadros de Mensagem e Informações de Controle

O protocolo é dividido em vários quadros, cada um contendo uma informação importante para a interpretação do sistema.

A Figura 3.21 mostra um exemplo de um protocolo com seus quadros pronto para ser enviado ao servidor remoto por meio do serviço de comunicação de dados GPRS da telefonia móvel.

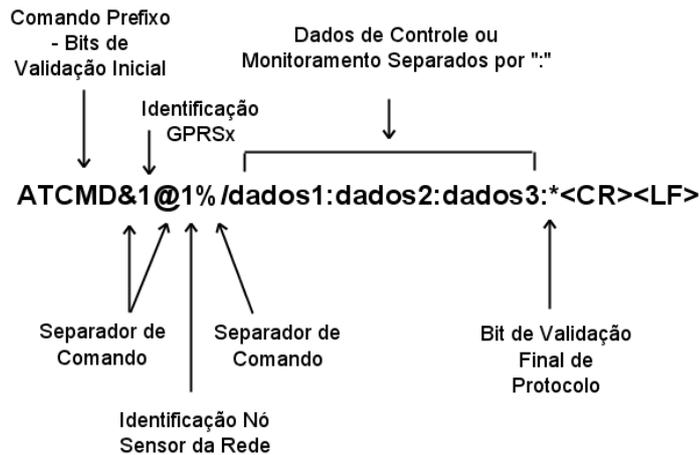



Figura 3. 21 - Exemplo de um protocolo a ser transmitidos para o servidor.

O protocolo contém os dados e informações de controle necessárias para a comunicação entre GPRSx e o servidor. Entretanto são divididos em quadros com seus respectivos parâmetros:

- Primeiro encontram-se os bytes de validação que servem para serem comparados se de fato o que chegou ao servidor são protocolos válidos. Isto é devido à possibilidade de ocorrer erro no inicio do protocolo, fazendo com que o sistema descarte e aguarde por um novo protocolo.
- No segundo quadro. após o separador de quadro constituído por um byte, vem a identificação do equipamento GPRSx necessário para reconhecimento por parte do servidor, visto que, para cada conexão do GPRSx a operadora celular abre um canal de acesso à Internet é gerando endereços "IPs" diferentes na rede. Entretanto, criou-se um quadro em que é associado a identificação do equipamento ao endereço IP da rede.
- No terceiro quadro a seguir indica-se em qual do nó-sensor da *RSSF* vem os dados de sensores e/ou atuadores no protocolo. Cada informação de dados coletados da *RSSF* é separada por dois pontos, assim pode-se ter um número considerável de informações nesse protocolo relativos à identificação do nó da rede.
- No último quadro contém apenas um byte delimitador de fim de protocolo.

O primeiro e último quadro de mensagem são usados para marcar o início e o fim da mensagem permitindo que o dispositivo receptor determine qual dispositivo está sendo

endereçado e saber quando a mensagem está completa, além de realizar a comparação de começo e fim para validar do mesmo.

Da mesma forma funciona o protocolo de dados mostrados na Figura 3.22, em que os bytes de validação e identificação do protocolo estão no início. Porém, os caracteres diferem do protocolo anterior, sendo que, após o caractere separador de dados, vem a identificação do nó-sensor na rede. Através desse quadro o sistema GPRSx passa a direcionar para qual *buffer* deve armazenar os dados para depois encaminhar para o servidor.

Os dados provenientes de nós-sensores vem seguido após um segundo caractere separador de dados onde são finalizados com um caractere "asterisco" finalizador ou delimitador de fim de protocolo.

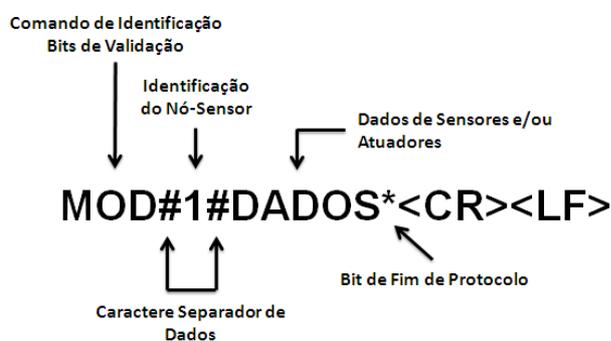



Figura 3. 22 - Exemplo de um protocolo de dados na *RSSF.*

O protocolo de dados é capaz de assumir diferentes tamanhos, dependendo do tipo de informação de dados, pois pode haver sensores em que a informação aquisitada seja bastante grande e outro menor. Sempre vai se seguir a estrutura definida em seus respectivos quadros, ou seja, não alterando os demais quadros definidos no protocolo.

Já o protocolo de controle foi desenvolvido dando a possibilidade de um controle a distância ao equipamento GPRSx, pois não há a necessidade de se está ao lado para ligar ou desligar o sistema entre outras funções oferecidas pelo protocolo. Sendo assim esse protocolo funciona dentro da *RSSF,* fazendo com que todos os nós da rede tenha o controle, bastando enviar o protocolo com seu respectivo, comando ao GPRSx como mostrados na Tabela 3.9. A Figura 3.23 mostra um exemplo de um protocolo de controle dentro da *RSSF.*

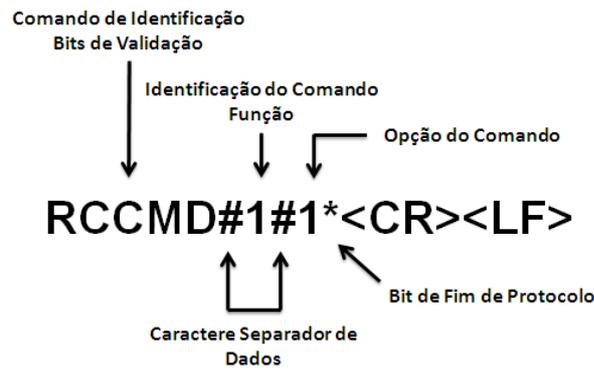



Figura 3. 23 - Exemplo de um protocolo de controle ao GPRSx.

Seguindo as mesmas regras dos demais protocolos do sistema, o primeiro quadro é a identificação e validação do protocolo, após o caractere separador de dados segue a identificação do comando que vai do numeral zero ao seis com as seguintes funções como mostra abaixo:

[0] – Teste de comunicação do GPRSx na *RSSF*.

[1] – Responsável em colocar em funcionamento nos diferentes modos de operação.

[2] – Cancelamento do alarme, em casos de falhas no sistema.

[3] - Habilita para uma nova conexão.

[4] – Muda as opções de visualização no módulo display.

[5] – Habilita o modo escrita ou modo comando.

[6] – Habilita a transmissão por parte do processador de dados.

Já no quadro depois do segundo caractere separador, encontra-se o “status” das funções do sistema onde indicam se vai está habilitado ou desabilitado, ligado ou desligado e assim sucessivamente e por fim o caractere delimitador de protocolo.

Capítulo 4

Testes e Resultados Obtidos

4.1 Introdução

Neste capítulo será realizada a descrição dos testes e resultados obtidos referentes à solução embarcada GPRSx aplicados a dois processos a saber: Domótica e Telemedicina. Para ambos os processos foram desenvolvidos *hardware e software* para o interfaceamento com o sistema proposto. Desta forma, será apresentada uma descrição dos processos desenvolvidos, dos módulos aplicados na integração do cenário residencial (Domótica) e o circuito de aquisição EMG no monitoramento em telemedicina.

4.2 Domótica

Segundo [33] [34], domótica é um recurso utilizado para controle de um ou mais aparelhos eletrônicos por meio de uma central computadorizada e tem como objetivo melhorar a qualidade vida, reduzir o trabalho doméstico e aumentar o bem estar e segurança do homem. O termo surgiu da junção da palavra *"Domus"*, (que significa residência) com a palavra eletrônica e informática.

Em se tratando de rede doméstica de comunicação, entende-se como àquela que provê a interligação entre os equipamentos, como computadores, dispositivos inteligentes, sensores, atuadores, *cable modem* ou *modem* ADSL5. Ela representa a nova onda de serviços dos próximos anos e será responsável por uma grande mudança na vida de todos, pois possibilitará o acesso instantâneo à informação residencial. Muitas empresas do setor de telecomunicações, automação, computadores e microprocessadores estão se organizando em fóruns e associações para estabelecer uma tecnologia de redes e protocolos, a fim de suprir as necessidades do uso doméstico. A velocidade com que esta chegará às mãos dos usuários finais talvez seja o fator decisivo para torná-la um padrão mundial e abocanhar esse imenso mercado [32].

Alguns fabricantes de equipamentos eletrônicos estão agitando o mercado de redes com o desenvolvimento de chips que permitem a ligação entre diversos computadores através da rede elétrica já instalada numa edificação. Apesar dos fabricantes de computadores e de

softwares enxergarem nas redes domésticas uma grande oportunidade de vendas, não existe um consenso sobre qual a melhor maneira de interligar os equipamentos. A rede elétrica é uma boa aposta, mas a transmissão sem fio e as linhas telefônicas ainda seguem consideradas fortes candidatas [35].

A implementação de um projeto de automação residencial tem como atividade a integração de sistemas baseados em dispositivos de computação, comunicação, sensores e atuadores. Nesse sentido atuam algumas tecnologias tais como o PLC, que é utilizado para transmissões entre computadores como, por exemplo, permitir o acesso à Internet através da rede elétrica [36].

Apesar das vantagens com relação à utilização da infra-estrutura da rede de distribuição elétrica para a transmissão de dados, como baixo custo e, no caso de residências já construídas, o fato de se evitar a realização de reformas, tais tecnologias possuem baixas taxas de transmissão quando comparadas a outras, como as redes telefônica e sem fio [37].

A própria heterogeneidade dos equipamentos envolvidos, cada um utilizando diferentes padrões, se mostra um fator que contribui para a complexidade desses sistemas, que demandam projetos flexíveis, bem como a compreensão, por parte do projetista, de uma vasta gama de diferentes tecnologias.

Uma casa automatizada está deixando de ser um luxo, pois além de conforto, representa segurança, economia e qualidade de vida. E a indústria da construção civil já sabe que esse é um importante diferencial de venda, até mesmo nos imóveis para a classe média. Portanto, a tecnologia é real e está presente cada vez mais no cotidiano das pessoas. Pensando-se nisso, foi escolhido esse cenário para os testes da solução embarcada *GPRS,* visto que, a casa possui diversos dispositivos e/ou aparelhos que necessitam se monitorados e controlados, uma vez que o sistema proposto se adapta facilmente sem necessidades de grandes instalações, por acoplar seus módulos sem fio e integra-se com outras tecnologias sem fio que o usuário possa vim ter em sua casa. Um exemplo é poder integrar o notebook wireless ao sistema da casa e/ou o controle através de seu celular.

4.2.2 Cenário de testes para o processo de domótica

A Figura 4.1 apresenta uma arquitetura do cenário residencial proposto para realização dos testes formado por diversas tecnologias de comunicação sem fio do tipo: IEEE802.11 Wi-Fi, IEEE802.15.4 ZigBee, e IEEE802.20 GSM/GPRS, todas interligadas ao dispositivo GPRSx.

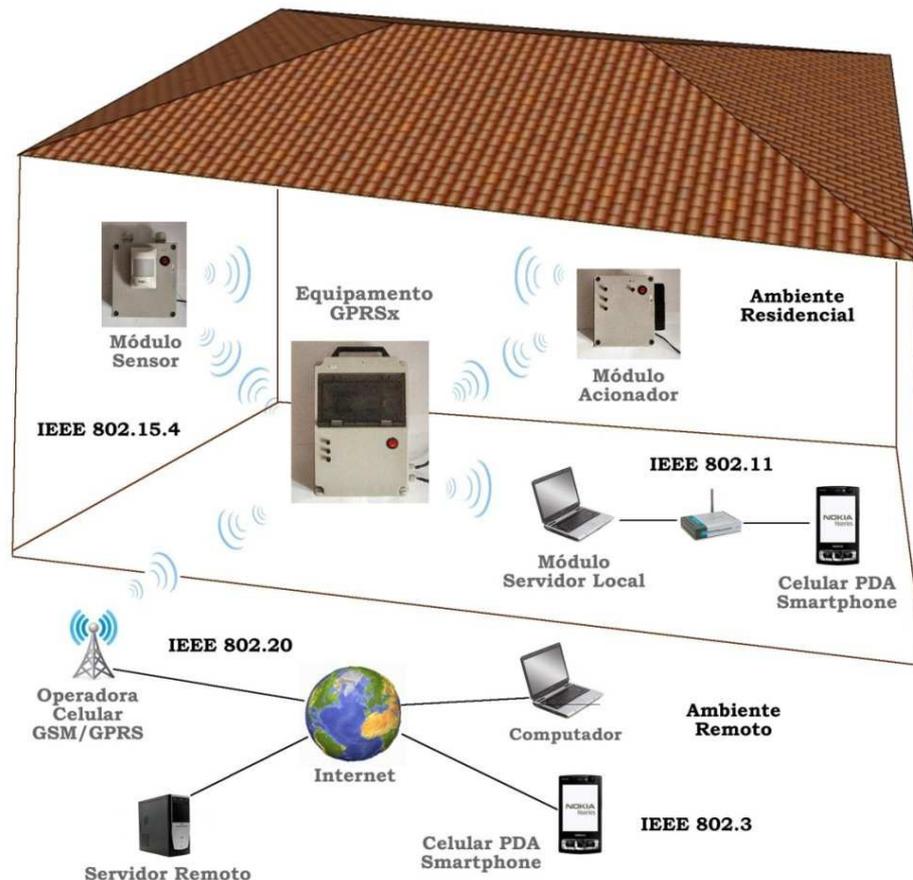



Figura 4. 1 - Cenário de teste na domótica.

Na rede ZigBee foram construídos mais dois módulos sendo eles compostos de sensores e atuadores além do GPRSx. Utilizando um notebook ou um outro dispositivo móvel conectados a rede *Wi-Fi,* também torna-se possível a integração da *RSSF.* Todas essas redes interligadas à internet por meio da rede celular (serviço de comunicação de dados sem fio GPRS) como ilustrado na Figura 4.1.

Por meio de um servidor remoto as informações dos sensores e atuadores são visualizadas e armazenadas em um banco de dados para checagem e/ou controle dos dispositivos da casa. Utilizando um celular ou quaisquer outros aparelhos com acesso a Internet poderão ser acessados os dados remotamente agilizando e facilitando as operações do usuário.

O objetivo de se desenvolver módulos para um ambiente residencial, é poder checar o funcionamento bem como teste de desempenho do GPRSx na integração dessas tecnologias de comunicação sem fio em um cenário doméstico. Esses módulos englobam diversos

sensores e atuadores reais utilizados em uma casa. A atuação desses módulos no sistema servirá para validação de desempenho e eficiência diante o GPRSx.

O cenário desenvolvido é constituído de três nós sendo:

- Nó – GPRSx*;*
- Módulo Nó-Sensor;
- Módulo Nó-Atuador;

Seu funcionamento inicia a partir do dispositivo GPRSx*,* pois é o centralizador e concentrador das informações da *RSSF.* Por conter um nó ZigBee configurado para ser um nó-coordenador da rede, é o responsável pela inicialização, distribuição de endereços, manutenção da rede, reconhecimento de todos os nós. Possui um algoritmo de detecção e avaliação da comunicação do tipo *self-stable*. O GPRSx tem como finalidade principal integrar o restante da rede à internet pelo serviço GPRS da operadora celular.

As informações de mudanças são percebidas por meio de sensores, na qual se concentra em um único módulo responsável em transmiti-los pela rede ZigBee até chegarem em um servidor remoto encarregado em processá-los, armazená-los em banco de dados e permitir acessos à distância por quaisquer dispositivos com acesso a internet.

O controle das iluminações e de equipamentos domésticos é realizado pelos atuadores do sistema, constituído por um módulo por onde recebe e transmitem informações de mudanças de estado de atuação de forma que, tanto local como à distância, irá atender e atualizar o sistema de sua posição atual.

Através da Figura 4.1 é possível visualizar a arquitetura de comunicação sem fio estruturado para o funcionamento dentro de um cenário residencial. Com diferentes padrões de tecnologia existente em ambiente doméstico é possível integrar tais comunicações de forma que o usuário tenha acesso a todos as informações de seu lar tanto local ou à distância por meio de um único sistema portátil.

Para o fluxo de dados entre os módulos da *RSSF,* optou-se em configurar a rede para atuar em uma topologia em malha, pois tem uma maior redundância e confiabilidade de que essas informações chegarão ao GPRSx. Essa configuração permite também múltiplos caminhos ligando um dispositivo aos outros dispositivos da rede, de forma a permitir uma maior robustez na rede.

Essa topologia permite que, com a entrada de novos dispositivos, a rede se ajuste automaticamente durante sua inicialização, otimizando o tráfego de dados. Com essa

topologia é possível construir redes mais extensas e de maior complexidade, possibilitando o controle e monitoração de uma maior área.

4.2.3 Módulo Sensor

Nessa seção será brevemente apresentada a construção do módulo nó-sensor, seus diferentes sensores e o funcionamento na integração com os demais dispositivos da casa. A Figura 4.2 mostra o módulo com as descrições e localizações dos sensores.

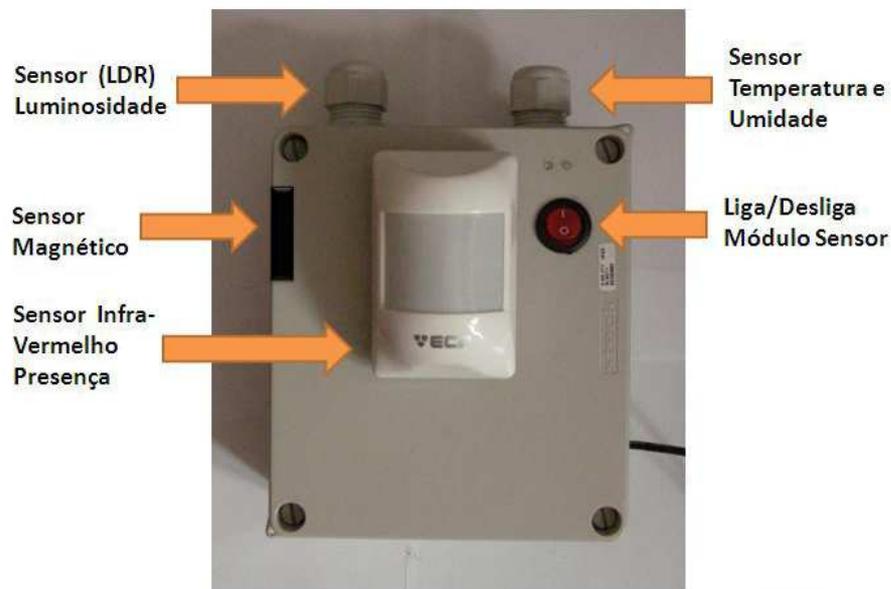



Figura 4. 2 - Módulo Nó-Sensor.

Utilizando-se este módulo é possível reduzir os gastos de energia elétrica por meio das funções de regulação de intensidade da luz usando-se o movimento de pessoas ou através da redução de luminosidade em pelo anoitecer (escurecer do ambiente).

Este módulo agrega sensores para percepção de mudanças no ambiente tais como:

- Variações na temperatura e umidade do ar;
- Luminosidade do ambiente;
- Percepção de presença de intrusos no local através do sensor de infravermelho;
- Identificadores de aberturas de portas e janelas por meio do sensor magnético.

Seu circuito é constituído por um microcontrolador PIC16F877A do fabricante Microchip®. Sua função é coletar as informações do ambiente provenientes de seus sensores

acoplados, colocá-los no formato do protocolo do sistema e transmiti-las ao GPRSx por meio do transceptor ZigBee existente em cada módulo da *RSSF*.

Todos os sensores se concentram em apenas um nó da *RSSF,* diminuindo o número de nós-sensores havendo um menor tráfego de dados e a redução dos custos na compras de novos nós ZigBee.

4.2.4 Módulo Atuador

Nesta seção é mostrado o outro módulo que irá atuar no ambiente, sua descrição de *hardware e software*, a localização e as funções de ambos são visualizadas na Figura 4.3.

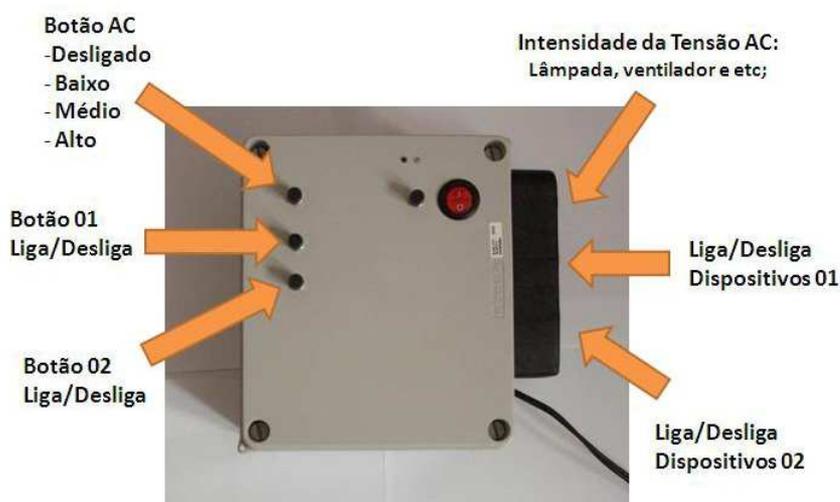



Figura 4. 3 - Módulo Nó-Atuador.

Esse módulo permite controlar iluminações e equipamentos, podendo ser feito de forma manual, automática ou programada. Seu controle é gerenciado por um *software* no servidor e disponibilizado para acessos à distância, permitindo o agendamento e a programação de eventos. Assim, as lâmpadas podem ser acesas conforme o horário programado (agendado), ou quando a luz solar for insuficiente ou mesmo com a presença de pessoas no local.

O seu *hardware* é constituído de circuitos atuadores microcontrolados da família 16F Microchip®. Esse módulo trabalha com dois microcontroladores PIC16F628 e o PIC16F877, o primeiro realiza a comunicação e o processamento dos dados e outro o gerenciamento de controle sobre os atuadores *(relés e triac),* além de estar interconectado com o transceptor

ZigBee para acesso *RSSF*. Contém uma tomada AC que varia sua tensão através de comandos locais e remoto, serve para o controle de intensidade de lâmpadas, ventiladores e etc. Inclui ainda mais duas tomadas AC para ligar e desligar equipamentos.

O acionamento dos dispositivos na casa diante o módulo atuador ocorre de maneira manual ou automática. No modo manual o usuário pode ligar ou desligar o dispositivo através do botão encontrado na parte frontal do módulo. Uma vez pressionado, atua no equipamento e transmitem a nova informação pela *RSSF* até ao GPRSx*,* sendo que este se encarrega de enviar o protocolo contendo o novo estado de mudança ao servidor da aplicação remota pela comunicação GPRS da operadora. Entretanto, as novas alterações são atualizadas, pois o usuário remoto pode verificar o que ocorreu no momento exato da alteração pelo usuário local. A outra possibilidade é o usuário à distância ter o controle desses dispositivos, podendo acioná-los através da página de dados utilizando um celular ou demais equipamentos com acesso a internet. A Figura 4.4 ilustra um diagrama de caso de uso onde mostra as opções disponibilizadas para o monitoramento e controle tanto local e à distância disponibilizado pelo sistema doméstico.

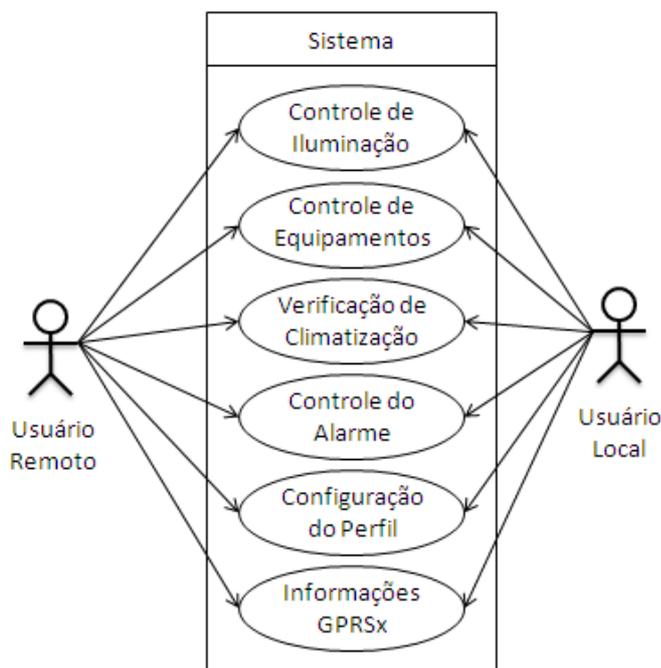



Figura 4. 4 - Diagrama de Caso de Uso das Opções da Casa.

Na opção automática, o usuário pode configurar o sistema para acionar os dispositivos de maneira programada, pelos sensores encontrados no sistema.

Na opção programada, através da utilização de um temporizador, o usuário determina o tempo de duração de operação de cada dispositivo. Na configuração por sensores, o sistema

irá atuar de forma automática ao detectar a presença de pessoas ou ao escurecer o ambiente atuando no controle de iluminação.

O Protocolo de comunicação segue a mesma arquitetura de protocolo desenvolvido no GPRSx, pois buscou-se, na criação do protocolo, uma forma que fosse adaptativa no qual se pudesse atender a maioria das aplicações onde o GPRSx poderia está inserido.

Em se tratando de protocolo de comunicação, existem dois protocolos que vem da *RSSF* que correspondem as informações dos módulos sensores e atuadores e nos quais são transmitidas ao servidor da aplicação do sistema de automação residencial. Essa transmissão é realizada pelo GPRSx que, ao receber os protocolos, realiza um pré-processamento efetuando a junção em um único protocolo correspondente ao servidor, na qual contém as informações dos dois módulos como mostra a Figura 4.5.

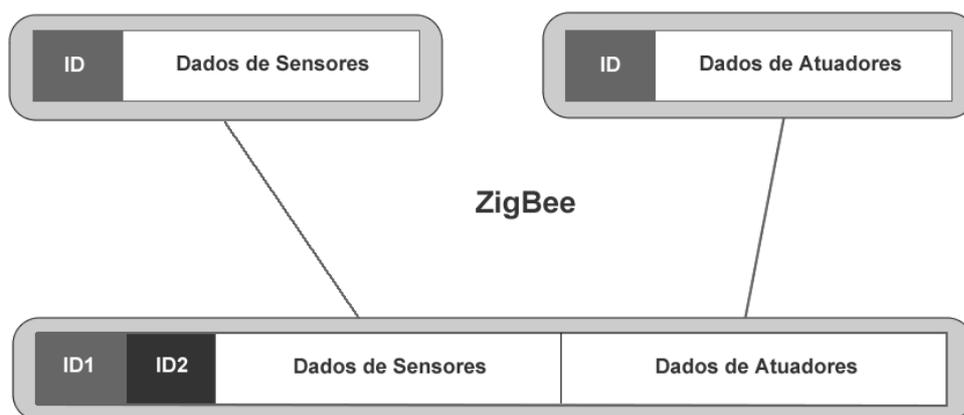



Figura 4. 5 - Empacotamento dos protocolos pelo GPRSx.

Após os dados da *RSSF* estarem empacotados pelo GPRSx, chegou a hora de serem transmitidos ao servidor. Para isso utiliza-se a comunicação sem fio do serviço de dados GPRS da operadora celular. Um exemplo desse protocolo está na Figura 4.6, onde ilustra as informações reais que são processadas e transmitidas nas quais inclui todas as informações de identificação da rede, do equipamento GPRSx e dados de sensores e atuadores do ambiente doméstico.

Figura 4. 6 - Protocolo transmitido para o servidor remoto.

Esse protocolo é constituído conforme a descrição a seguir:

- **ATCMD&1@1%/** → Esse campo já foi descrito no capítulo anterior na seção protocolos.

- **T32.2** → Informação de temperatura do ambiente monitorado, a letra **"T"** representa temperatura seguida da medição. Pelo exemplo acima tem-se: 32.2 Celsius.
- **U50.4** → Informação de umidade relativa do ar, a letra **"U"** representa umidade do ar seguido de sua medição; no exemplo acima tem-se: 50.4%.
- **L0450** → Informações de luminosidade, a letra **"L"** representa a luz, seguido pelos valores de medição que variam entre 0000 até 1023 bits.
- **F1** → Informação que identifica a abertura e fechamento de portas ou janelas, neste exemplo, um sensor magnético. A letra **"F"** representa a fechadura e os valores variam entre **"0" e "1".** Onde **"0"** detecta a porta ou janela Fechada, e **"1"** detecta a porta ou janela Aberta.
- **P1** → Informação que identifica a presença de intrusos no ambiente através de seu sensor de presença, a letra **"P"** representa presença de pessoas no ambiente e os valores seguem da seguinte forma: **"0"** Ausência. **"1"** Detecta Presença.
- Os últimos "0" e "1" corresponde ao controle de dispositivos, na qual **primeiro e o segundo "número"** → Representam, cada um, o status de controle de chaves através

de relés. Podendo controlar ar condicionados, ventiladores, chuveiros elétrico, bomba d'água etc. Seus valores variam entre "0" e "1".

a. **0** → Desligado, e **1** → Ligado.

- E os últimos 8 números representa o status de controle de dispositivos que se pode variar a tensão, por exemplo, (Mortores AC, Lâmpadas etc).Neste caso, foi direcionado para as lâmpadas, onde alterou-se sua intensidade luminosa conforme o perfil do usuário. Seus valores de controle variam entre 0, 1, 2 e 3, cujos significados são respectivamente:
  - Desligado, tensão 0 volts;
  - Ligado a uma intensidade de 20%;
  - Ligado a uma intensidade de 60%;
  - Ligado a uma intensidade total de 100%;

As vantagens deste protocolo são: ao invés de enviar separadamente cada protocolo correspondendo a cada nó da *RSSF* aumentando o *buffer* de saída de transmissão dos microcontroladores e atraso na atualização das mudanças do ambiente, envia-se de uma única vez essa estrutura de protocolo com todas as informações do ambiente. O protocolo contém um tamanho de 55 bytes de mensagem tornando mais eficiente à atualização das informações no sistema.

Da mesma forma são enviados pelo servidor para a *RSSF,* protocolos onde contém comandos de controle para atuar no ambiente. O GPRSx ao receber essas informações por meio da comunicação GPRS, efetua um *broadcast* pela *RSSF*, todos os nós da rede recebem esse protocolo, cabendo apenas o nó direcionado processá-los. Entretanto, o servidor somente envia o protocolo para controlar o ambiente através do módulo atuador existente no ambiente.

A tecnologia ZigBee permitem atuar com vários nós - sensores na rede. Para o sistema GPRSx não será diferente, para cada novo módulo ou nó-sensor é definido uma nova identificação no cabeçalho de seu protocolo passando a atuar junto ao sistema.

O protocolo do módulo atuador é formado pela seguinte estrutura:

MOD1#000... 0*\r\n

- **MOD1** → É a identificação do módulo nó da rede, no qual é através desse cabeçalho que irá diferenciar dos demais nós existentes e outros que possam a ter no sistema.
- **#** → É um caractere separador de quadro do protocolo.

- A partir desse ponto logo após o separado "#", vem a identificação de estado e de controle de cada dispositivo. Para cada índice, no caso 1 byte ou 1 caractere, se tem a possibilidade de se variar de 0 a 9 e/ou A a Z. Para tanto, admite-se que o número "zero" representa um dispositivo desligado e o número "um" representa ligado ou mesmo; 0 a 9 são os níveis de intensidade, como um exemplo, no caso de uma lâmpada, o controle de níveis de luminosidade conhecida como *Dimmer*.

O tamanho do protocolo varia pela quantidade de dispositivo acrescentado na casa, colocados após o separador de quadro.

4.2.5 Descrição dos Testes

Na verificação do pleno funcionamento dos módulos com GPRSx, todas as partes envolvidas foram testadas separadamente e agrupadas uma a uma até a obtenção do resultado final já com a integração de todos os padrões de rede.

Para os testes de validação foram utilizados um celular da marca Nokia, um modelo N95 que possui um sistema operacional Symbian S60 3rd Edition com acesso a internet, um computador desktop servindo como um servidor do sistema na qual contém:

- A aplicação desenvolvida para automação residencial;
- Banco de dados do sistema;
- Página de dados WEB para acessos remotos;

O servidor de teste foi executado no sistema operacional Windows XP SP2, em um computador com processador Intel® Celeron® M 1.86GHz, com 1GB de memória e 60GB de *HardDisk,* conectado a internet.

A aplicação do sistema residencial executada no servidor foi desenvolvida na linguagem C++ utilizando o IDE Builder da CodeGear, nas quais possuem as interface visuais, controle e monitoramento do ambiente da casa, bem como as informações de conexão do GPRSx e armazenamento no banco de dados.

Essas informações que chegam e saem do servidor vem do GPRSx ou da página de dados (Sítio) disponibilizadas para acessos remotos no sistema e que compartilham o mesmo banco de dados desenvolvida.

O banco de dados construído para armazenar e trocar informações de controle e monitoramento foi o MySQL, por ter um bom desempenho e estabilidade, portabilidade para diversos plataforma e facilidade de uso.

Através da página de dados qualquer dispositivo com acesso a internet pode ter o controle e monitoramento dos sensores e atuadores da casa, bastando para isso, um cadastro de acesso ao sistema através de login e senha registro em uma tabela no banco de dados.

Testes do Hardware e do Firmware

Nesta seção são apresentados alguns testes que foram realizadas para a verificação de desempenho do GPRSx diante do cenário doméstico, levando em consideração a quantidades de dispositivos, a distância entre os módulos da rede, o protocolo integrador e as operações utilizando diferentes padrões de comunicações através das interfaces desenvolvida. Um manual de utilização da interface é apresentado em anexo nesta dissertação.

Alguns experimentos foram realizados para testar o funcionamento do sistema da automação residencial. Em primeiro lugar, o conjunto formado pelo *hardware* e *firmware* foi submetido a testes. Então, testou-se todo o sistema, incluindo-se o *software.*

Os testes do *hardware* e o *firmware* objetivaram verificar:

- Máxima distância alcançada em um ambiente fechado*;*
- Pacotes entregues;
- Pacotes perdidos;
- Taxa de transmissão;

O tamanho do pacote a ser enviado pela *RSSF* varia conforme a quantidades de dispositivos que o circuito é capaz de acionar e a potência do sinal dos módulos transmissor e receptor. Para tanto, a verificação da potência do sinal dos transmissores em locais fechado é de grande importância, pois o ambiente doméstico é constituído de locais fechados, cheios de obstáculos e divisórias fazendo com que, o nível de sinal reduza trazendo a perda dos dados transmitidos.

Os testes foram realizados no prédio do NESC da Faculdade de Engenharia Elétrica e da Computação da UFPA, um ambiente que contém diversas salas, corredores, banheiros e

entre outros cômodos, um cenário que retrata um ambiente residencial real como mostra a Figura 4.7 e a planta do prédio na Figura 4.8.

Figura 4. 7 - Localização do Prédio do NESC.

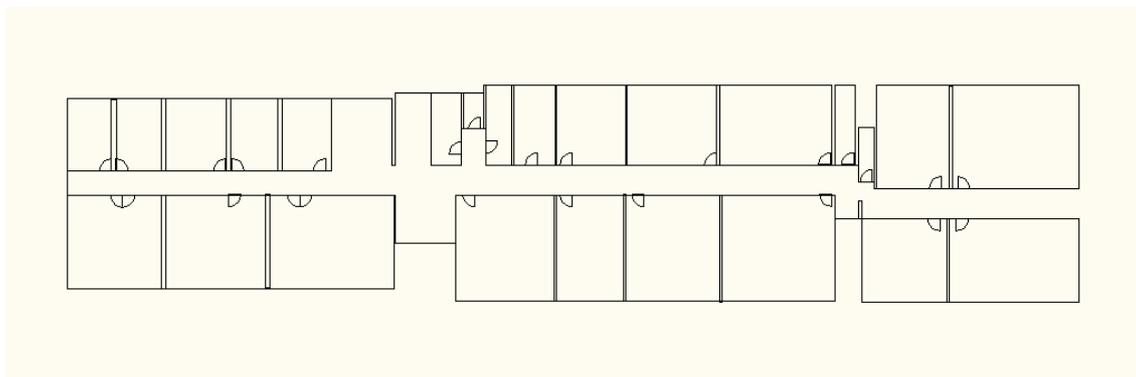



Figura 4. 8 - Planta do prédio do NESC - UFPA

Ferramentas de Testes

Para conhecer a máxima distância dos módulos XBee Pro da tecnologia ZigBee utilizadas nos módulos sensor e atuador aqui construídos, usou-se o *software* X-CTU da *Maxstream,* para testar o nível de sinal entre os nós da *RSSF.*

Para os testes, foi utilizado o canal 15, que não interfere nas transmissões do padrão IEEE 802.11b e vice-versa, na freqüência de 2.425MHz e com potência máxima em todos os transceptores.

A Figura 4.9 mostra a tela de teste efetuado, onde a barra indica a potência do sinal recebido pelo módulo conectado ao computador. Neste caso, o transmissor que está conectado ao computador envia o sinal a outro módulo XBee Pro remoto equipado com um conector de *loopback,* e com isso o sinal volta ao transmissor e pode-se então saber quantos pacotes

Figura 4. 10 - Ponto de coleta do nível do sinal no LAMIC.

Uma vez fixado um ponto do nó-sensor, era preciso distanciar o outro para checar o alcance entre os mesmos, porém, através do grande comprimento dos corredores do prédio, foi possível distanciá-los até um ponto onde ocorreu a perda do sinal e conseqüentemente a perda total dos dados transmitidos. A Figura 4.11 mostra as fotos tiradas nos testes do corredor.

Figura 4. 11 - Testes de Alcance do Sinal.

O gráfico da Figura 4.12 apresenta o resultado do experimento realizado em relação à potência do sinal e alcance entre os nós da rede.

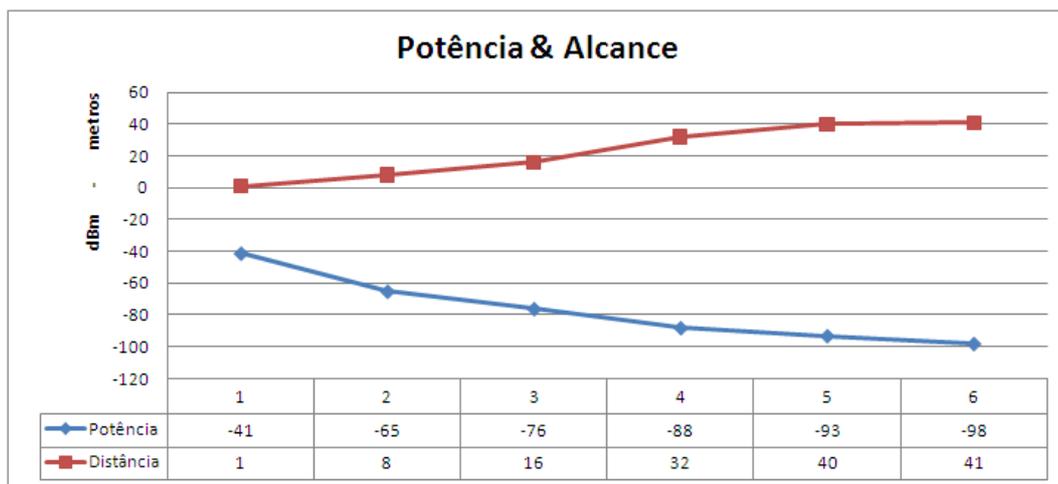



Figura 4. 12 - Potência do sinal em relação à distância.

Os dados foram coletados em seis pontos ao longo da transmissão, no primeiro ponto a uma distância de 1 metro o sinal se manteve em média -41dBm e no sexto ponto a uma distância de 41 metros o sinal era de -98dBm e acima disto, ocorria a perda total dos dados em conseqüência da baixa potência nos módulos. A Tabela 4.1 mostra como ficou a relação desses pontos.

Tabela 4. 1 - Distância x Sinal

Distância (metros)	Potência Média do Sinal (dBm)
1 m	-41 dBm
8 m	-65 dBm
16 m	-76 dBm
32 m	-88 dBm
40 m	-93 dBm
41 m	-98 dBm
42 m	Sem sinal

A potência média foi calculada tendo como base o valor obtido pela utilização de funções disponibilizadas pelo *software* X-CTU, que indicam o valor da potência do sinal transmitido ou recebido. Para o cálculo, foi considerada a variação não linear da potência, que diminui com o inverso do quadrado da distância entre o transmissor e receptor.

Foram realizadas inúmeros testes nos seis pontos definidos para as métricas de avaliação da *RSSF* levando em consideração o tamanho do pacote e a distância.

Para verificar a vazão de dados na *RSSF* através de quantidades de pacotes entregues e perdidos na transmissão, foi desenvolvido um *software* em C++ encarregado em comparar os

dados transmitidos e recebidos e conferir quantos pacotes foram validados. A Figura 4.13 mostra a interface do analisador de métricas da rede construído para checar os resultados nos seis pontos.

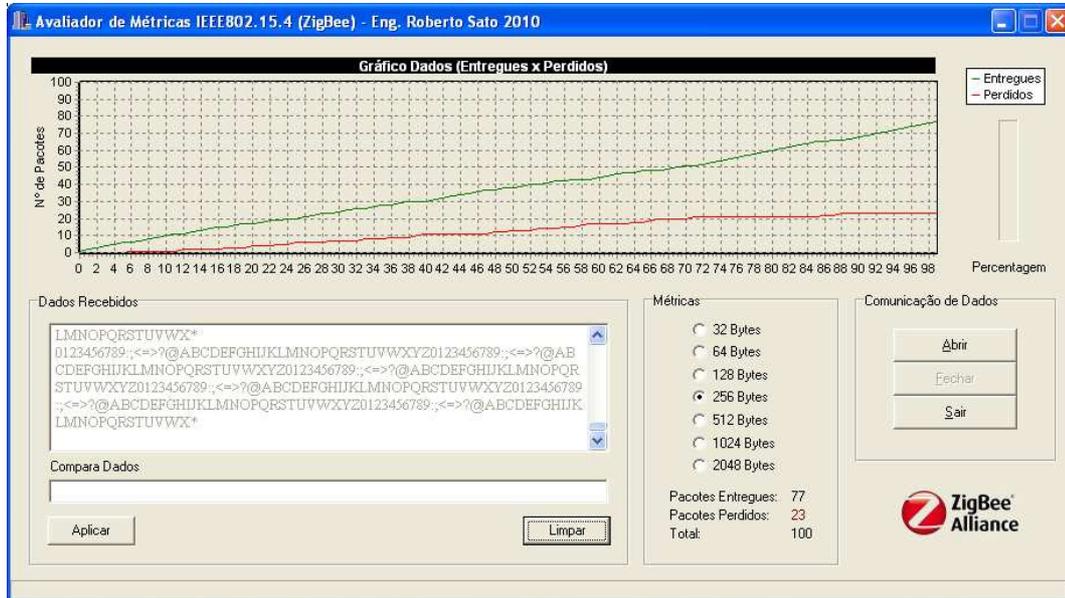



Figura 4. 13 - *Software* desenvolvido para os testes dos pacotes transmitidos.

Em cada ponto, foram transmitidos e verificados diferente tamanho de dados, de 32 Bytes até 2048 Bytes no total de 100 pacotes transmitidos para cada taxa de dados.

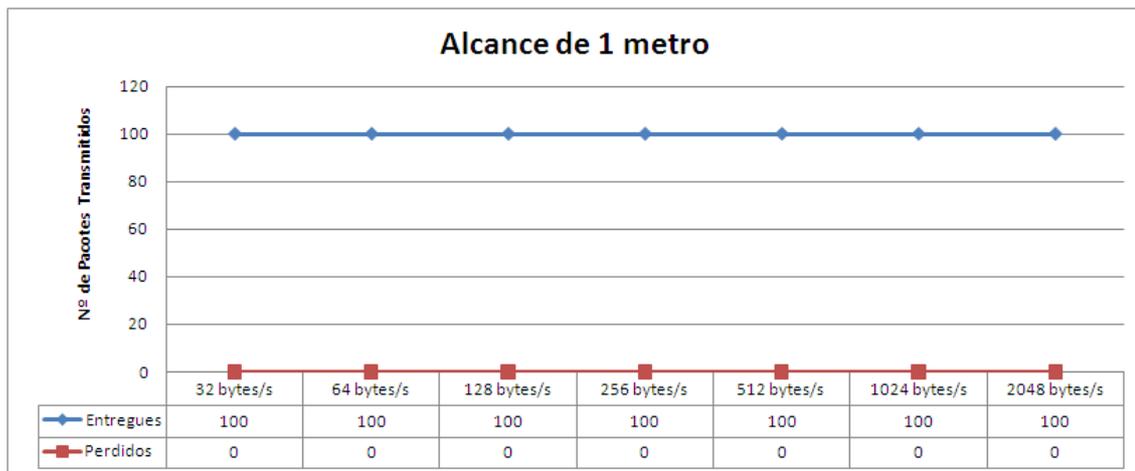



Figura 4. 14 - Ponto de 1 metro.

Para o alcance de um metro, em todas as taxas de transmissão de dados, foram entregues todos os pacotes com sucesso sem a ocorrência de perda dados na rede. A essa distância qualquer nó-sensor dentro dessas taxas poderá transmitir com eficiência seus dados.

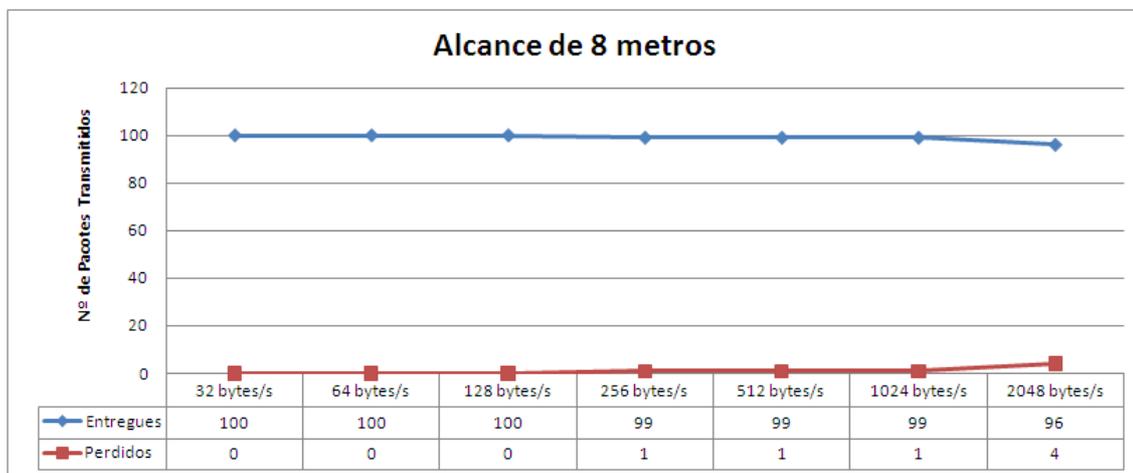



Figura 4. 15 - Ponto de 8 metros.

Para o alcance de oito metros, observou-se um início de uma perda a partir de 256bytes/s até 1024bytes/s. Com essa perda de 1%, ainda mantém-se a qualidade da transmissão dos dados, entretanto, a uma taxa de 2048bytes/s, se tem a ocorrência de 4% de pacotes perdidos.

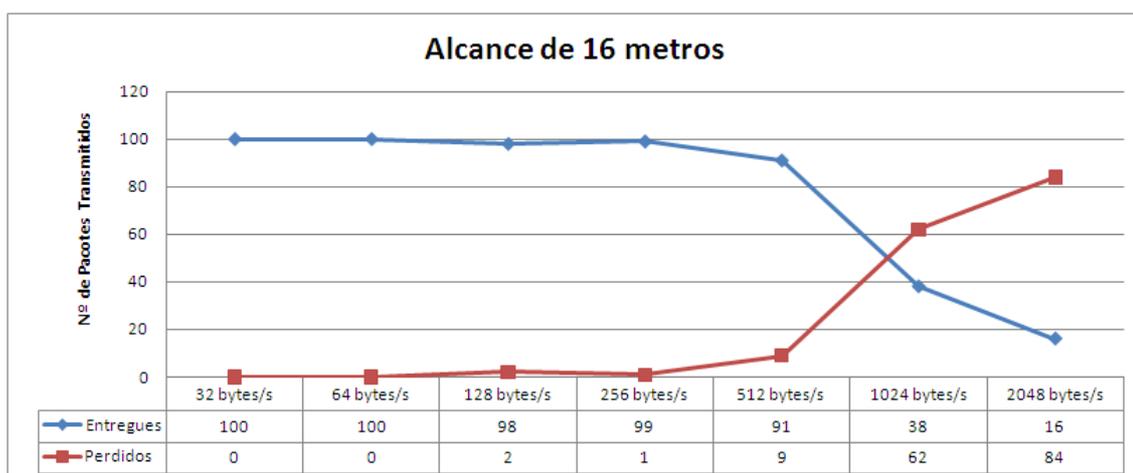



Figura 4. 16 - Ponto de 16 metros.

No gráfico da Figura 4.16, a uma distância de 16 metros, mostra as linhas dos pacotes entregues e perdidos se cruzando na taxa de 1024bytes/s, a partir dessa taxa se tem uma mudança ocorrendo uma maior perda na entrega dos pacotes em torno de 62%. Entretanto, a

maior taxa a ser usada nessa distância para uma transmissão estável está dentro dos 512bytes/s.

	32 bytes/s	64 bytes/s	128 bytes/s	256 bytes/s	512 bytes/s	1024 bytes/s	2048 bytes/s
Entregues	100	100	98	79	43	16	5
Perdidos	0	0	2	21	57	84	95

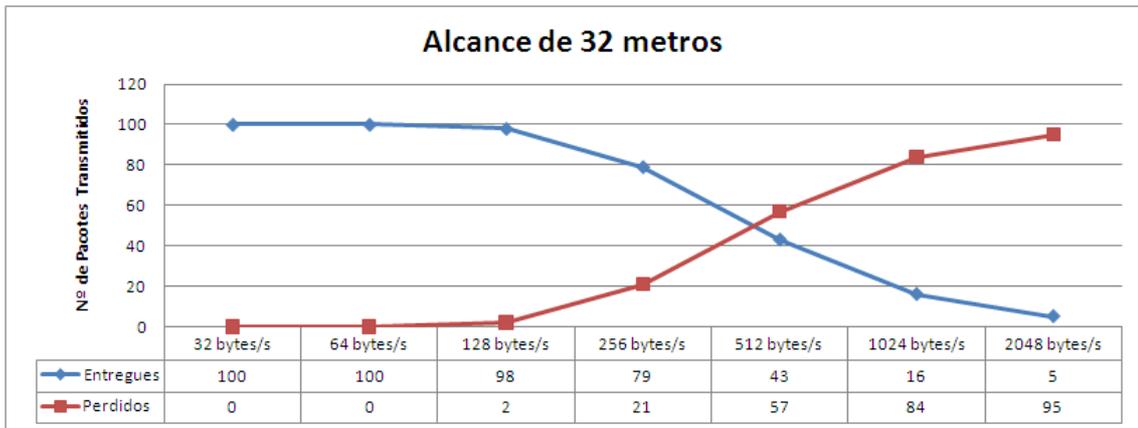



Figura 4. 17 - Ponto de 32 metros.

Para um alcance de 32 metros conforme o gráfico da Figura 4.17, se tem uma taxa com maior perda em 512bytes/s em torno de 57% perdidos e 43% entregues. A uma taxa de 256bytes/s se tem uma ocorrência de 79% entregues e 21% perdidos, mais da metade dos dados foram entregues com sucesso a essa taxa.

	32 bytes/s	64 bytes/s	128 bytes/s	256 bytes/s	512 bytes/s	1024 bytes/s	2048 bytes/s
Entregues	100	100	92	86	31	15	4
Perdidos	0	0	8	14	64	85	96

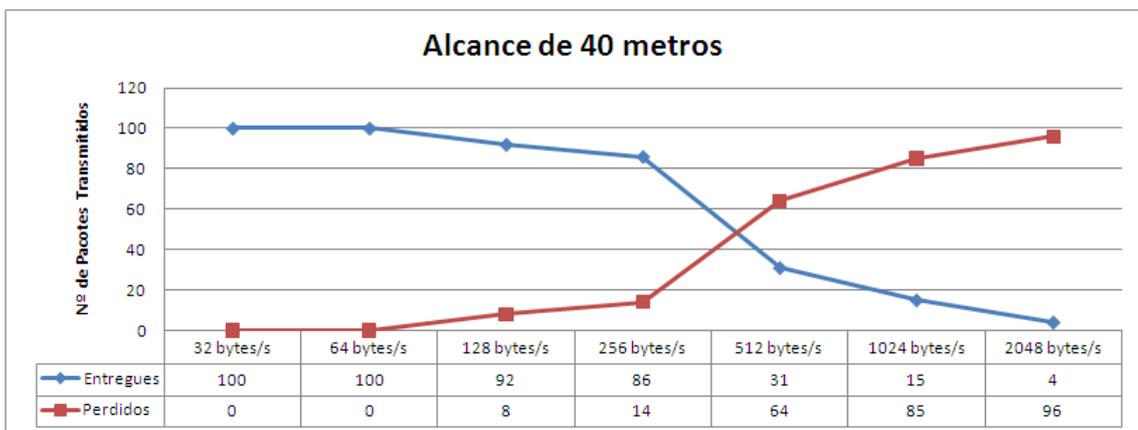



Figura 4. 18 - Ponto de 40 metros.

No gráfico da Figura 4.18, a uma distância de 40 metros, conclui-se que atenuação dos dados está acentuada na taxa de 512bytes/s.

	32 bytes/s	64 bytes/s	128 bytes/s	256 bytes/s	512 bytes/s	1024 bytes/s	2048 bytes/s
Entregues	100	100	98	77	41	21	2
Perdidos	0	0	2	23	59	79	98

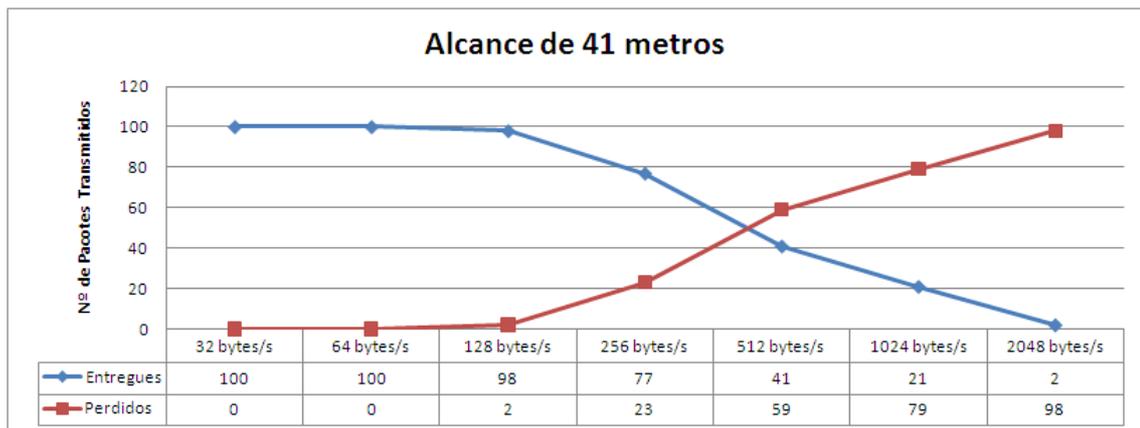



Figura 4. 19 - Ponto de 41 metros.

No gráfico da Figura 4.19 pode-se observar que, para taxa de dados de 32bytes/s e 64bytes/s ocorre a total transmissão dos 100 pacotes sem a ocorrência de perda de informação na rede. Na taxa de 128bytes/s ocorre uma perda de 2% na entrega dos pacotes, visto que, ainda se mantém uma ótima taxa de dados para essa distância de 41 metros. No quarto ponto do gráfico, a uma taxa de 256bytes/s, se tem uma perda mais significativa desses dados, porém ainda há mais da metade, em torno de 77%, dos pacotes entregues e 23% perdidos. A partir da taxa de transmissão de 512bytes/s até a taxa de 2048bytes/s houve mais perda de dados do que entregas com sucesso.

Relacionando os resultados obtidos aos resultados da *RSSF (Gráfico da Figura 4.1),* conclui-se a relação direta da vazão com o nível de sinal da *RSSI*, sendo que após os 41m o desempenho no alcance do sinal começa a diminuir havendo a perda total dos dados transmitidos.

Os testes descritos acima são importantes para não mascararem os testes com o GPRSx.

Testes do Sistema (Domótica)

Uma vez identificados as melhores taxa de transmissão em relação a distâncias dos módulos na *RSSF*, chegou à hora de verificar o desempenho dos protocolos desenvolvidos no GPRSx para atuarem no processo doméstico.

Para a realização dos testes dos módulos, visto que, já foram identificadas as taxas de transmissão e alcance da *RSSF* dentro de um cenário doméstico, os testes foram para a

verificação do funcionamento dos dispositivos tais como: o módulo sensor e o módulo atuador desenvolvidos para esse cenário.

Será realizada uma comparação dos testes de vazão de dados na *RSSF* com alguns parâmetros abaixo:

- O tamanho do protocolo;
- Quantidade de dispositivos;
- Limitações dos módulos;

Chegou-se a alguns resultados apresentados nas tabelas a seguir.

Resultado 1: Mostrado na tabela de resultados 4.2 estão a melhor taxa de transmissão da *RSSF* com as quantidades possíveis de dispositivos acrescentados no protocolo sem as limitações de *hardware e software.*

Tabela 4. 2 - Relação (Distância, Tamanho e Dispositivo).

Distância (metros)	Tamanho do Protocolo	Número de Dispositivos
1 m	2048 bytes	2042
8 m	2048 bytes	2042
16 m	512 bytes	506
32 m	256 bytes	250
40 m	256 bytes	250
41 m	128 bytes	122

As informações contidas na Tabela 4.2 não levam em considerações as limitações do módulo atuador construído nesta dissertação.

Esse módulo é composto por dois microcontroladores e um conjunto de componentes eletrônicos. Somente é possível controlar até 33 dispositivos elétricos independentes na casa. Para que ocorram as mesmas quantidades possíveis de dispositivos com os dados da Tabela 4.2 é necessária a construção de mais módulos nós - atuadores no sistema.

Resultado 2: Apresentam os resultados das quantidades de módulos nós – atuadores que podem existir para alcançar o número máximo de dispositivos que rede de comunicação pode transmitir com a divisão do tamanho do protocolo.

Tabela 4. 3 - Relação (Distância, Tamanho, Modulo e Dispositivo).

Distância (m)	Tamanho do Protocolo	Nº de Módulos	Nº de Dispositivos
1 m	± 39 bytes	52	1716
8 m	± 39 bytes	52	1716
16 m	± 39 bytes	13	429
32 m	± 42 bytes	6	198
40 m	± 42 bytes	6	198
41 m	± 42 bytes	3	99

Observando-se o resultado da Tabela 4.3 conclui-se que, quanto menor a distância entre os nós - sensores maiores o número de módulos atuadores existente no sistema, sendo assim, mais dispositivos poderão ser controlados no ambiente.

Para colocar em prática o funcionamento desses dispositivos através do módulo atuador, foi construído um cenário de iluminação contendo seis lâmpadas dicróicas, um abajur e um ventilador, todos simulando um ambiente doméstico como mostram as Figuras 4.20 e 4.21.

Figura 4. 20 - Dimmer digital, controle das 8 lâmpadas dicróica.

Figura 4. 21 - Controle de iluminação do abajur.

O módulo é de fácil instalação, devido possuir em sua lateral as tomadas de ligação dos dispositivos na qual facilitou a montagem do cenário para os testes.

A primeira tomada controla as seis lâmpadas dicróicas de decoração, a segunda tomada o abajur e o terceiro o ventilador do ambiente.

O acionamento desses dispositivos foi utilizando as seguintes interfaces:

- Utilizando um celular da Nokia N95 conectado ao sistema e por meio das interfaces de controle do sistema, foram acionadas as iluminações dicróicas testando seus níveis de intensidade luminosa que variam de 0 a 100% acesas, observou-se que tanto a comunicação quanto ao circuito de *hardware* desenvolvido funcionou de forma adequada e eficiente sem nenhum problema na operação dos mesmos. A Figura 4.22, 4.23 e 4.24 visualiza os testes realizados com o uso do celular para controlar todos os dispositivos da casa.

Figura 4. 22 - Controle do dispositivo de ventilação.

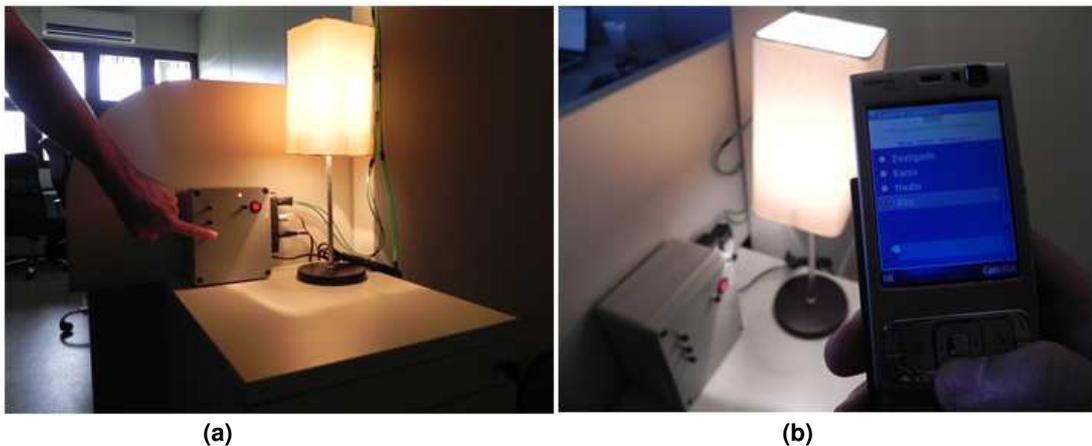
A Figura 4.22 mostra os testes no acionamento do ventilador da casa, experimento realizado com eficiência pelo sistema tanto no acionamento pelo interruptor do módulo-nó atuador como pelas demais interfaces do sistema.

(a) **(b)**

Figura 4. 23 - Controle manual no interruptor e/ou controle pelo celular.

A Figura 4.23 (a) apresenta os testes executado para acender e desligar o abajur por meio do interruptor encontrado na parte frontal do módulo-nó atuador do sistema, e na Figura 4.23 (b) mostra a outra opção para o acionamento do mesmo utilizando o celular.

Figura 4. 24 - Controle na intensidade da luz por meio do celular.

A Figura 4.24 visualiza os testes realizados no controle da luminosidade do ambiente, onde se pode verificar o controle através do celular atuando no nível de intensidade da luz.

➢ Por meio de um computador local conectado a *RSSF*, foi efetuado um segundo testes utilizando um *software* desenvolvido. Seu funcionamento foi realizado como o esperado. Obteve-se um ótimo desempenho na aplicação ao receber e transmitir os protocolos pela rede. Foram efetuados todos os testes de acionamento dos dispositivos com a interface, verificando as atualizações e mudanças dos estados dos botões. A Figura 4.25 apresenta a aplicação com as informações do ambiente como um todo.

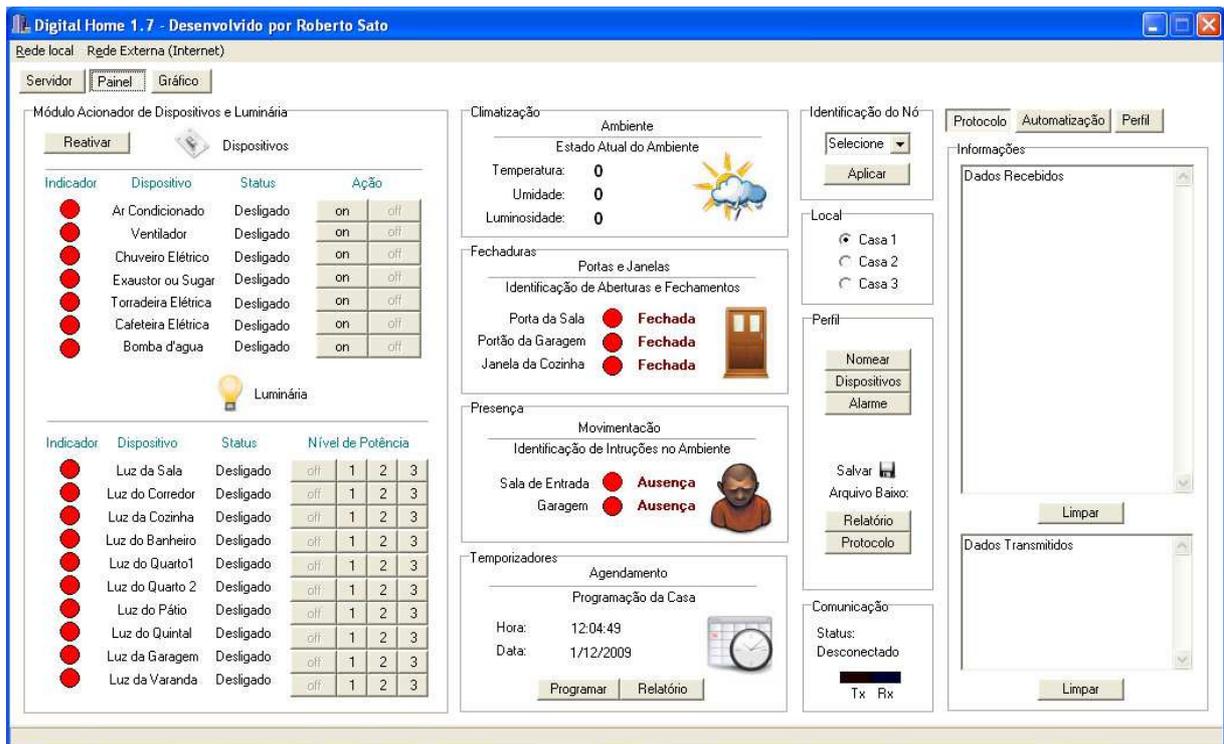



Figura 4. 25 - *Software* desenvolvido para automação residencial.

➢ O terceiro teste do sistema foi realizado pressionando o próprio interruptor das tomadas localizado na parte frontal do módulo executado de maneira mecânica e manual sem o uso de quaisquer outros aparelhos externos. O sistema se comportou de maneira hábil, assumiu um bom desempenho, atualizou todo o sistema com as novas mudanças de estado dos dispositivos, seja ele no *software* ou nas interfaces móveis como os dispositivos de mão como celular, notebook, através das comunicações sem fio do ZigBee, GPRS e Wi-Fi.

Para os testes dos sensores do ambiente foi fixado o módulo nó - sensor na parede próximo a porta para facilitar a identificação da abertura da porta e da detecção de intrusos por meio dos sensores como mostra a Figura 4.26. Foi ajustado para que o módulo sensor transmitisse a cada um segundo todas as informações de seus sensores para o sistema. Entretanto, de uma única só vez, são repassados para o servidor os dados para atualização das informações do ambiente.

Figura 4. 26 - Módulo nó - sensor instalado na parede.

Na Figura 4.27 mostra a tela no celular com todas as informações das medições coletas pelo nó-sensor tais como: temperatura, umidade do ar, luminosidade, data e hora da última atualização. Essas informações são transferidas de forma quase que instantânea no sistema, onde a temperatura e umidade relativa do ar comparada com outros medidores encontrados no mercado se comportaram de forma adequada. Na detecção de pessoas foi possível perceber o funcionamento ao se aproximar uma pessoa do módulo. Essa informação de detecção é transmitida ao sistema, onde o mesmo pode acompanhar e registrar o momento exato, podendo avisar o usuário por meio da ativação do alarme ou para acender as luzes do ambiente de maneira automática configurada pelo próprio usuário. A identificação de abertura de porta, utilizando o sensor magnético instalado no canto da porta para detectar quando a mesma estiver aberta e fechada, apresentou ótimo funcionamento sem quaisquer erros na leitura do sensor assim como os demais existentes.

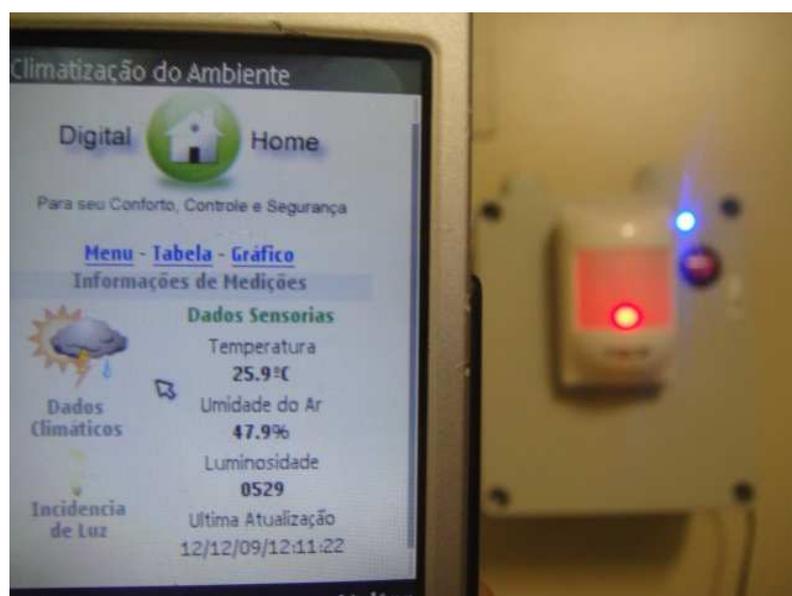



Figura 4. 27 - Tela do celular com as informações do módulo sensor.

Utilizando o mesmo *software* desenvolvido para o sistema, é possível acompanhar por meio de um gráfico as informações das medições de temperatura, umidade do ar e luminosidade em tempo real como mostra a Figura 4.28.

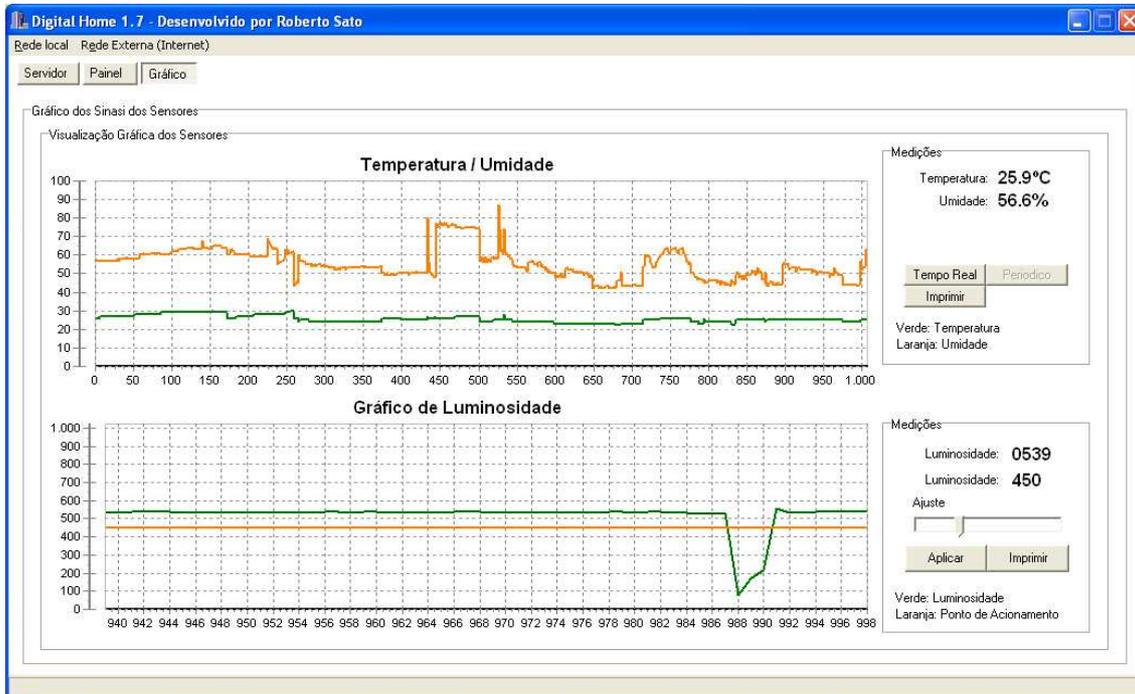



Figura 4. 28 - *Software* visualizando os dados monitorados em tempo real no gráfico.

O primeiro gráfico acima de temperatura e umidade mostra os valores registrados a cada 5 minutos no banco de dados, esse armazenamento ajuda no acompanhamento das variações de climatização do ambiente durante o dia, de maneira que se pode notar qual o horário na qual esses valores foram mais críticos.

O segundo gráfico visualiza a intensidade de luz incidente no ambiente em tempo real, a linha verde do gráfico indica o nível de luz coletado pelo sensor LDR e a linha laranja é o ponto de ajuste para acionamento automático das luzes quando estão no modo automático. Quando a linha verde estive abaixo da laranja o sistema enviará um comando para o módulo atuador para acionar as luzes do ambiente, isso somente ocorre quando o ambiente estiver aproximadamente escuro. Esse nível de escuridão para o disparo das luzes é ajustado pelo usuário com a ajuda do gráfico onde, com auxílio do *software* através da alavanca a esquerda do gráfico, é ajustada a linha laranja para um ponto de disparo do modo que o usuário achar melhor.

Os testes realizados em termos de gerenciamento do *software* para receber os dados do modulo nó – sensores, processá-los e transmiti-los através do protocolo de controle ao módulo nó - atuador por meio de um sistema distribuído se mostrou eficiente.

Testes realizados no GPRSx

Para os testes no dispositivo GPRSx, foi utilizado um celular com conexão Wi-Fi, para se efetuar os testes de controle remoto nas funções de ligar e desligar o GPRSx. Foram realizadas vários testes para checar a ocorrência de falhas de erros que poderiam ocorrer. Dos resultados, conclui-se que tanto por meio da comunicação sem fio Wi-Fi como ZigBee apresentaram o funcionamento adequado, executando as funções corretamente.

A Figura 4.29 e 4.30 mostram na seqüência dos testes utilizando uma conexão Wi-Fi e ZigBee através do uso de um celular e um notebook.

Figura 4. 29 - Teste efetuado utilizando um celular com conexão Wi-Fi para ligar o GPRSx.

Figura 4. 30 - Teste utilizando o software do sistema para o controle remoto do GPRSx.

Na sequência de testes, o segundo passo foi o de verificar o sistema de falhas e erros da tarefa “Alarme” GPRSx. Entretanto, para que ocorresse uma falha no sistema e se pudesse testar seu total funcionamento, vários eventos de falhas e erros foram simulados, tais como:

1. Falha na detecção de periféricos do sistema GPRSx;

Para verificar a eficiência do *OSEx* na execução de tarefas, foi simulado um cenário na qual se removeu o cabo de conexão dos microcontroladores ao modem GSM/GPRS. Ao retirar e iniciar o sistema, ocorreu a identificação de falha no exato momento da verificação de detecção dos periféricos do *hardware* do GPRSx fazendo com que o *OSEx* executasse a tarefa de falha com sucesso. A seqüência de inicialização foi suspensa, foi efetuada a chamada telefônica para o celular, o alarme sonoro sinalizados, no display foi visualizado a situação real em que se encontrava o sistema.

2. Falha na tentativa de conexão a operadora celular;

Para os testes de falhas na conexão com a operadora de telefonia celular, foi criada uma situação onde foi usado um “chip” celular sem créditos no modem GSM/GPRS. Normalmente, antes do acesso ao serviço, a operadora faz uma verificação para saber se o

usuário que está requisitando o serviço possui créditos. Havendo tais créditos a operadora permite o acesso (conecta o usuário). No caso do GPRSx, o *OSEx* foi programada para realizar seis tentativas para a conexão. Após estas seis tentativas o *OSEx* se direcionou para considerar que houve falha e/ou erro no sistema e realizou, a posteriori, os procedimento da tarefa "Alarme" do GPRSx.

3. Falha na conexão ao servidor remoto;

Outra possível falha, após a conexão com a operadora, é não se estabelecer a comunicação com a aplicação servidora. Para realizar estes testes, foi colocado o servidor sem conexão com a internet.

Dessa maneira, observando esse terceiro teste, assim como os demais, conclui-se que o GPRSx efetuou todos os procedimentos de falhas possíveis de forma correta pelo *OSEx* como programado para essas situações no sistema.

A imagem na Figura 4.31(a) mostra no exato momento em que o sistema GPRSx falha e entra na tarefa "Alarme" do *OSEx* realizando uma chamada remota ao celular para avisar sobre o ocorrido com o sistema.

(a) (b)

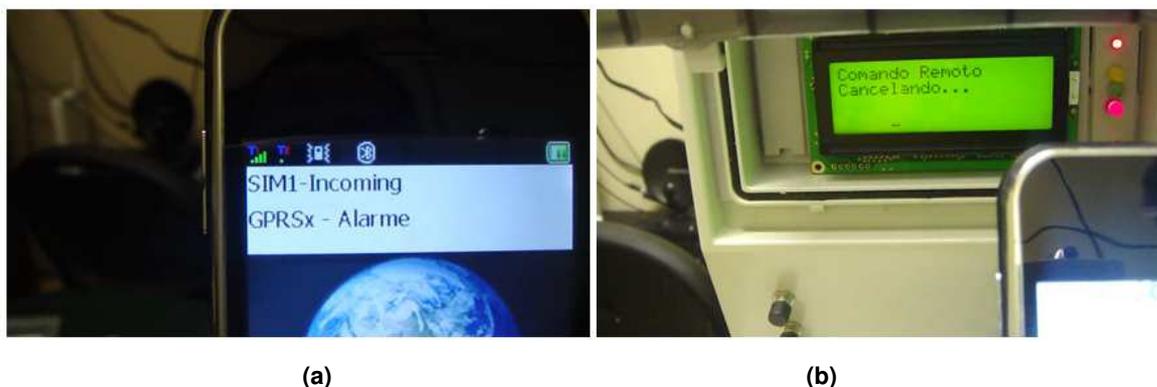



Figura 4. 31 - Teste do GPRSx realizando uma chamada remota ao celular.

O cancelamento do "Alarme" pelo sistema realizado através do próprio celular por onde a chamada foi recebida por meio do botão de interrupção na parte frontal do GPRSx também foi testado.

Para este cenário, o GPRSx efetuou a ligação para o celular avisando da falha, realizando-se a rejeição desta para que o sistema entendesse a situação de alerta. A imagem na Figura 4.31(b) mostra o GPRSx recebendo o comando após a rejeição da ligação,

cancelando o alarme e deixando o sistema inoperante até receber um novo comando para restabelecer seu funcionamento novamente.

A reinicialização do sistema GPRSx de forma remota também foi testada. Utilizando o mesmo celular se efetuou o teste para se restabelecer o funcionamento após o cancelamento do "Alarme". Este teste consiste em realização a uma chamada via GSM para o GPRSx. O GPRSx por sua vez foi configurado para receber a ligação e "resetou" todo o sistema.

4.2.4 Análise do Custo da Transmissão dos Dados via GPRS

Com o objetivo de estimar o custo da transmissão dos dados via GPRS, foi analisada a quantidade de bytes transmitida na comunicação entre o GPRSx e o servidor durante uma sessão de monitoramento e controle (login, controle de iluminações e dispositivos, monitoramento de sensores, informações da rede). Em cada requisição, a quantidade de *bytes* transmitida é:

1. Protocolo Transmitido – 55 bytes
2. Protocolo Recebido – 189 bytes

Tabela 4. 4 - A Tabela de o preço (R$/ Mbyte) cobrado pelas operadoras para o sistema em questão.

Operadora	Tecnologia	Pós (MB)	Pré (MB)
1	GPRS ou EDGE	R$ 4,00	R$ 5,00
2	GPRS ou EDGE	R$ 6,00	R$ 6,00
3	GPRS ou EDGE	R$ 9,00	R$ 9,00
4	GPRS ou EDGE	R$ 5,99	R$ 15,73
5	GPRS	R$ 8,00	R$ 8,00

4.3 Telemedicina

4.3.1 Introdução

A medicina aliada à telemetria pode monitorar pessoas em suas próprias casas, não apenas evitando que se desloquem para o posto médico, como também sendo um apoio à medicina preventiva que talvez seja a solução para os maiores problemas de saúde mundial. Cardíacos poderiam ser monitorados 24 horas por dia e ter os dados médicos transmitidos para o hospital pela mesma rede de acesso que permite a conexão com a Internet. Diabéticos (uma das maiores doenças em número de pacientes no Brasil) poderiam enviar o resultado de seus exames diários através de um leitor de glicose acoplado a um modem. No hospital, esses exames seriam armazenados em um banco de dados e, caso apresentasse alguma disfunção, o software gerenciador avisaria o médico [28].

Dentro deste contexto, para nova análise de desempenho do GPRSx*,* foi construído um cenário para aquisição de sinais eletromiográfos e a sua disponibilização pela Internet.

A Figura 4.32 apresenta uma visão do cenário elaborado.

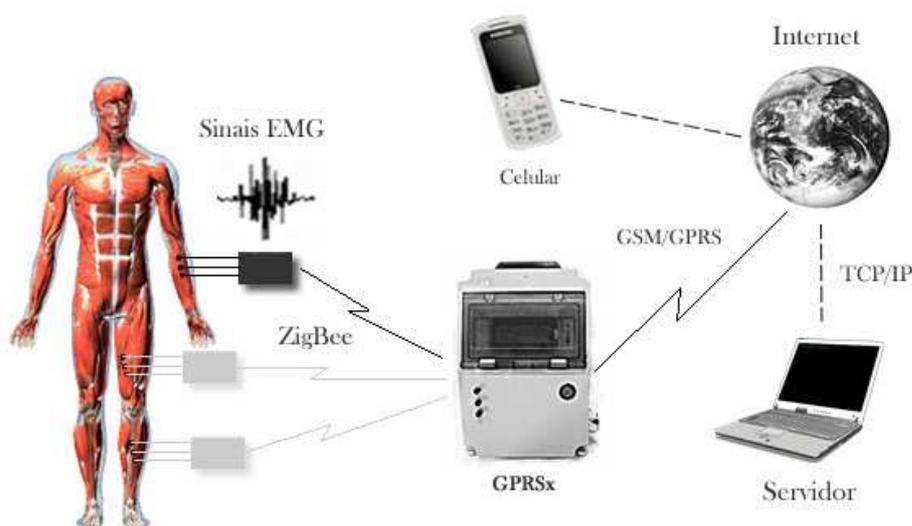



Figura 4. 32 - Diagrama de funcionamento do sistema**.**

O sistema apresentado na Figura 4.32 opera com base no *software* e *hardware* desenvolvido.

Com relação ao *software,* Este foi desenvolvido utilizando a linguagem de programação C++ Builder. Os requisitos mínimos para o funcionamento do *software* são os

mesmos recomendados para o funcionamento da aplicação residencial, ou seja, utiliza as mesmas configurações do computador com 1GB de memória RAM e um processador com freqüência acima de 1.8GHz. Na Figura 4.33 é apresentada a tela principal do *software*, onde se visualiza o cadastro do paciente a serem monitoradas, essas informações pessoais são armazenados no banco de dados do servidor, na qual utiliza MySQL para gerenciar essas informações.

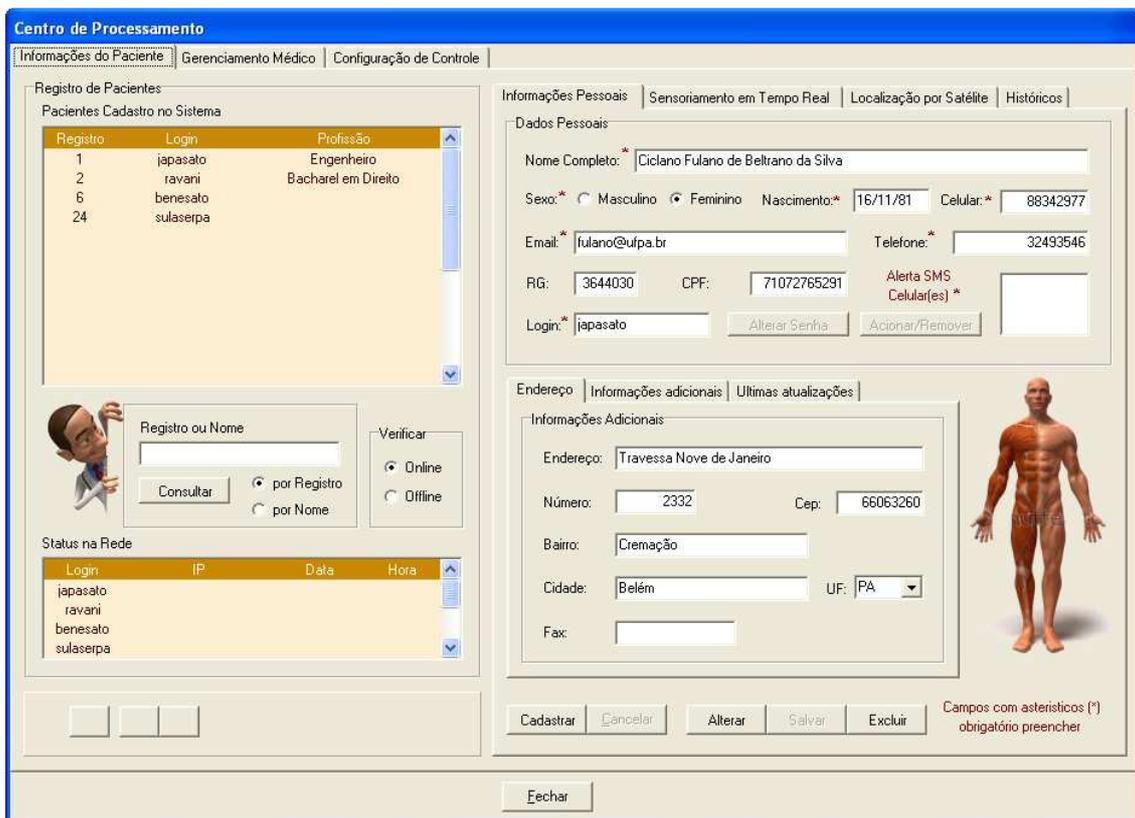



Figura 4. 33 - Software do Sistema EMG.

Em se tratando do *hardware* para a aquisição de sinais EMG, a Figura 4.34 apresenta o diagrama de blocos do sistema de aquisição.

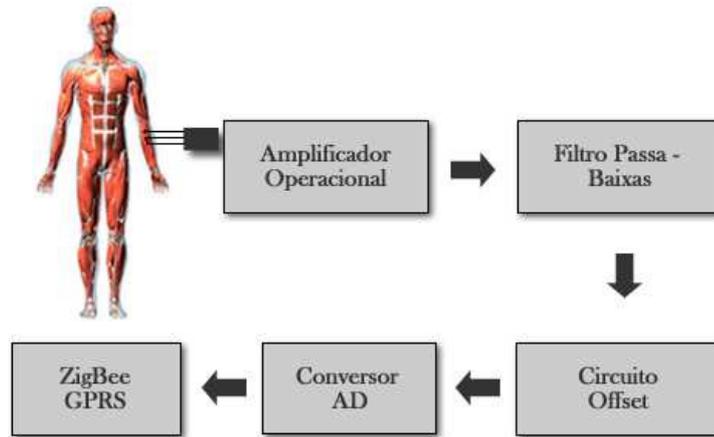



Figura 4. 34 - Componentes do sistema EMG.

O sistema projetado foi dividido com os seguintes módulos de *hardware:*

- Eletrodos: sua função é fazer a aquisição do sinal elétrico proveniente dos estímulos musculares, transformarem a corrente iônica em corrente elétrica, para que esse sinal seja amplificado e analisado.
- Filtros: sua função no sistema é de muita importância, devido ao grande número de elementos que podem gerar ruídos, tais como: ruído na rede elétrica, interferência eletromagnético e etc.
- Amplificadores Operacionais: sua função é amplificar e tratar os baixos sinais elétricos obtidos.
- Conversor A/D: sua função é realizar sucessivas amostragens do sinal analógico, convertendo-o em valores discretos digitais e enviá-los, via comunicação *RSSF,* até um dispositivo GPRSx.
- GPRSx: sua função é receber valores que foram convertidos pelo microcontrolador e enviá-los, via comunicação GPRS até um servidor remoto.

A Figura 4.35 apresenta o diagrama eletrônico do sistema construído.

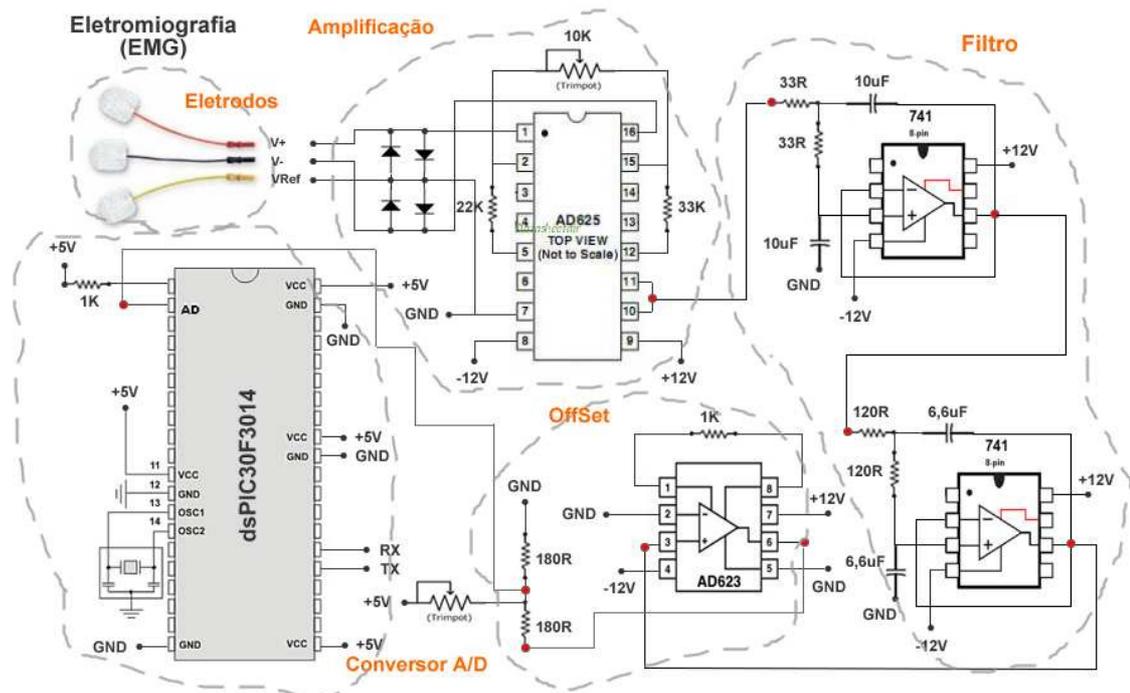



Figura 4. 35 - Diagrama eletrônico do sistema construído

Para a aquisição sinal EMG é necessário uma etapa de amplificação e outra de filtragem do sinal capturado através dos eletrodos. Em virtude da baixa amplitude do sinal EMG durante a aquisição, faz-se necessário amplificar o sinal para posterior processamento.

No projeto foi escolhido um circuito integrado AD625 da ANALOG DEVICES, que é um amplificador operacional de precisão especificamente projetado para atender a duas áreas principais de aplicações: Circuitos exigindo ganhos fora do padrão (ou seja, os ganhos não são facilmente atingíveis com dispositivos como o AD524 e AD624) e os circuitos exigindo um baixo custo.

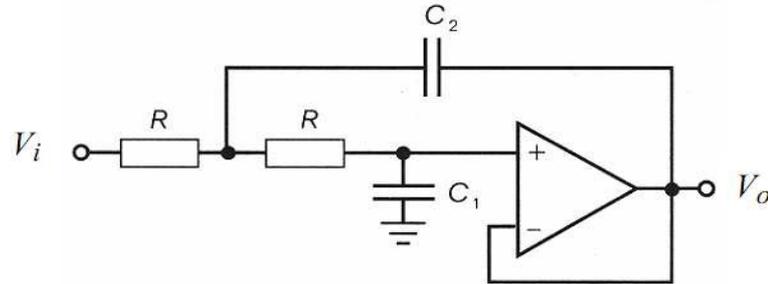
A grande facilidade disponível neste amplificador está relacionada com o ganho dependente apenas do cálculo da resistência externa.

A equação descrita abaixo informa o ganho do amplificador em função de sua resistência de ganho (RG).

(4.1)

O filtro a ser utilizado é um filtro *Butterworth* de 4ª ordem, pois ele reúne as condições para serem utilizadas na instrumentação deste cenário. Apresenta uma função de transferência quase totalmente plana para frequências inferiores às de corte e uma elevada

atenuação para as frequências superiores. No projeto do filtro, foi considerada uma freqüência de corte (ponto de 3dB) de 500Hz.

O projeto do filtro baseou-se num filtro de 2ª ordem de Sallen-Kev, conforme mostra a figura abaixo:

Esse filtro caracteriza-se por:

A_v =1 - *Ganho a baixas frequências*

Q = $0{,}5\sqrt{\frac{C_2}{C_1}}$ - *Fator de qualidade*

$f_p = \frac{1}{2\pi R\sqrt{C_1 C_2}}$ - *Frequência de pólo*

Onde C1 e C2 são os capacitores, R é a resistência e *fp* a freqüência de pólo.

Nas aproximações Butterworth as frequências de corte e pólo relacionam-se por um fator K_c tal que:

$$f_c = K_c \, . f_p \;\; \text{com} \; K_c = 1 \qquad (4.2)$$

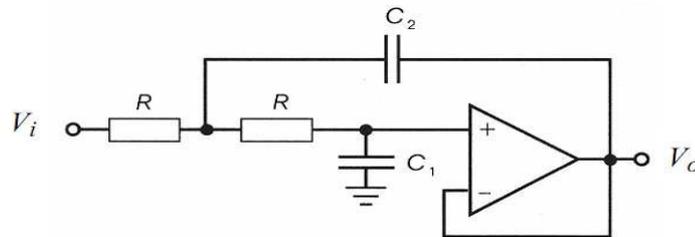
A abordagem utilizada no projeto na realização de filtros de ordem superior consiste na cascata de andares de primeira e segunda ordem. Com isso, para se obter o filtro ativo passa-baixas de 4ª ordem cascateou-se dois filtros de 2ª ordem, conforme mostra a figura a seguir:

De acordo com [Mariano Sánchez e J.A. Corbelle,1992] a utilização de dos filtros iguais de 2ª ordem, provoca uma atenuação 24dB por oitava. Porém, para se construir um filtro de 4ª ordem com uma frequência de corte mais seletiva, deve-se observar o valor do fator de Qualidade Q para cada andar, conforme a tabela abaixo:

Valores escalonados de Factores de Qualidade Q em Filtros Passa-Baixo de Butterworth :

Ordem	1.º Andar	2.º Andar	3.º Andar	4.º Andar	5.º Andar
2	0,707				
4	0,54	1,31			
6	0,52	1,93	0,707		
8	0,51	2,56	0,6	0,9	
10	0,51	3,2	0,56	1,1	0,707

Desse modo, para cada andar tem-se:

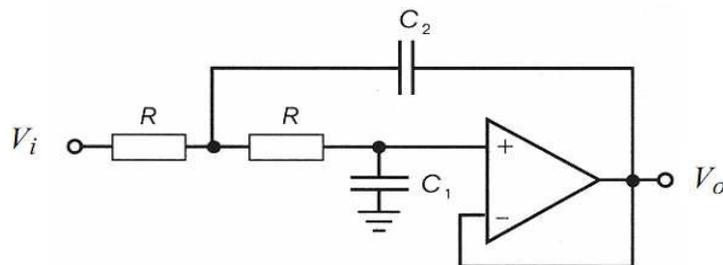
1º Andar: (Q=0,54)

Valores dos capacitores e resistores:

$$Q= 0,5\sqrt{\frac{C_2}{C_1}} \rightarrow 0,54 = 0,5\sqrt{\frac{C_2}{C_1}} \rightarrow 1,08 = \sqrt{\frac{C_2}{C_1}} \rightarrow \frac{C_2}{C_1} = 1,17 \quad (4.3)$$

$\rightarrow$ $1,17\ C_1 = C_2$

E com R= $\frac{1}{1000\ \pi\sqrt{C_1\ C_2}}$

- Usando-se $C_1 = C_2 = 10\mu F$, tem-se R = 31,83 Ω.

2º Andar: (Q=1,31)

Valores dos capacitores e resistores:

$$Q= 0,5\sqrt{\frac{C_2}{C_1}} \rightarrow 1,31 = 0,5\sqrt{\frac{C_2}{C_1}} \rightarrow 2,62 = \sqrt{\frac{C_2}{C_1}} \rightarrow \frac{C_2}{C_1} = 6,87 \quad (4.4)$$

$\rightarrow$ $6,87\ C_1 = C_2$

E com R= $\frac{1}{1000\ \pi\sqrt{C_1\ C_2}}$

- Usando-se $C_1 = 1\mu F$ e $C_2 = 6{,}6\ \mu F(dois\ de\ 3{,}3\mu F\ em\ paralelo)$, tem-se R = 123,9Ω

4.3.2 Ambiente de desenvolvimento

Todos os módulos de *hardware* foram projetados, a princípio, em *proto-boards* e passados a placas de circuitos impresso, após a realização de testes no mesmo. Para os cálculos e implementações dos filtros foram utilizando um *software* de simulação. Os dispositivos de *hardware* foram projetados utilizando o *software* Kicad Build de licença livre, de onde foi possível a construção do esquemático e a confecção da placa de circuito impresso.

A comprovação de funcionamento do sistema foi realizada, por testes utilizando o gerador de funções e um equipamento de bancada EMG da ScienTECH como mostra a Figura 3.36.

Figura 4. 36 - Equipamento de bancada ScienTECH.

Para fins de teste no circuito amplificador, foi usado um sinal senoidal com freqüência de 200Hz e amplitude de 520mV na entrada do amplificador operacional AD625 e na saída ligado ao osciloscópio para verificar o funcionamento e o nível de amplificação. Posteriormente, foi realizado um segundo teste, com um sinal simulado do equipamento EMG.

A Figura 4.37 apresenta uma das etapas dos testes do estágio de amplificação usando um sinal EMG do equipamento simulador.

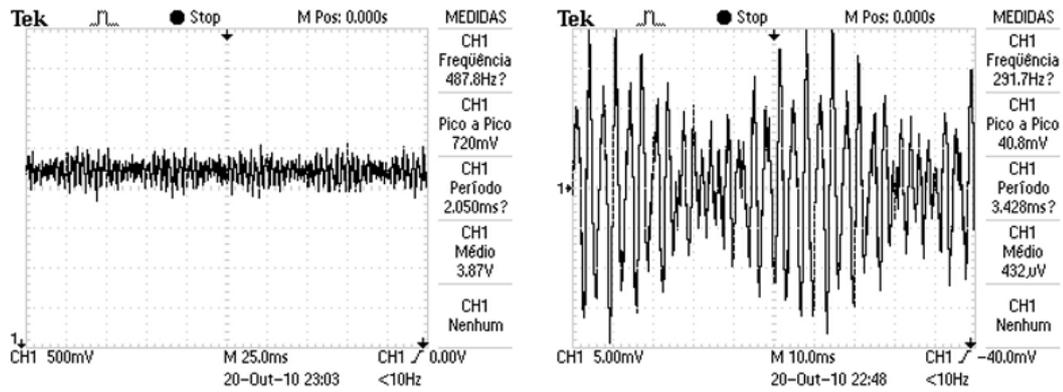



Figura 4. 37 - Sinal EMG amplificado.

Para a realização dos testes de funcionamento do processo de filtragem, foi diretamente acoplado na entrada do filtro passa-baixas um gerador de função.

Na prática, cada ordem de um filtro possui uma diferença de 6 dB por oitava em relação à ordem seguinte. Esta também é a relação entre a frequência de corte e uma frequência qualquer *n* oitavas acima, ou seja:

$$f_1 = 2^n \cdot f_C \tag{4.4}$$

Fazendo-se $f_1 = 2f_C$, obtém-se um valor de *n* igual a 1. Para este valor de *n*, houve uma atenuação de aproximadamente 16 dB para o sinal.

Nas Figuras 4.38 e 4.39, verifica-se tais fatos. As Figuras referem-se, respectivamente, a um sinal de aproximadamente 500Hz e de aproximadamente 1000Hz.

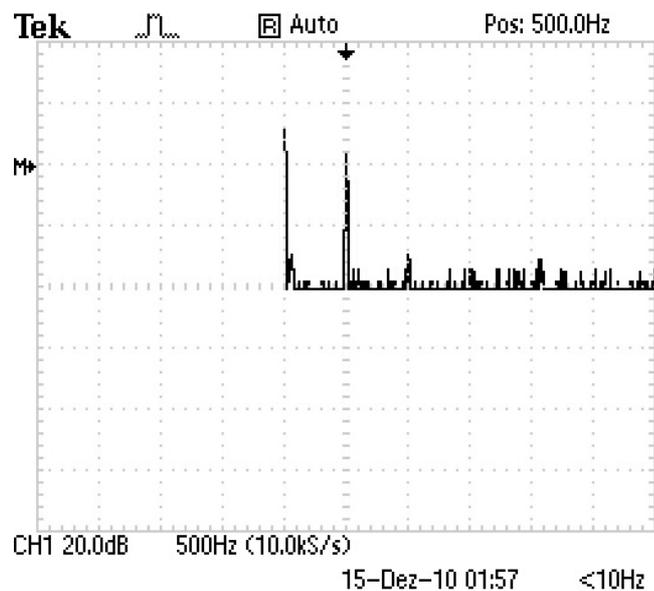



Figura 4. 38 - Frequência de Corte (a)

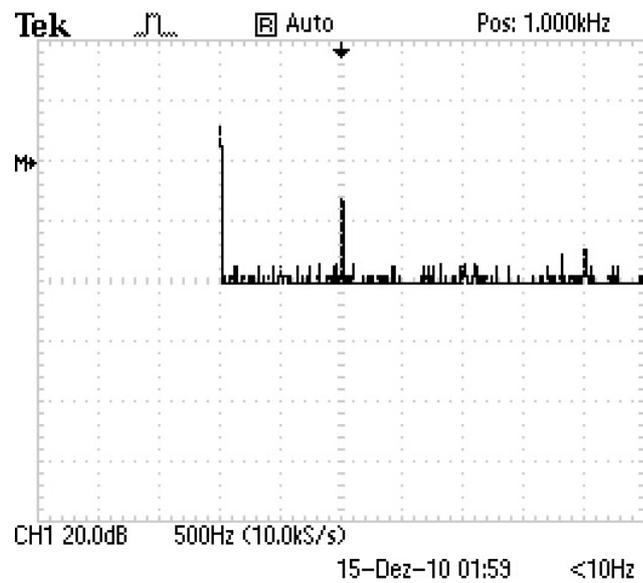



Figura 4. 39 - Frequência de Corte (b)

Do exposto acima, cada "quadro" vertical (na tela do osciloscópio) provoca uma diferença de 20 dB. Com $f_1 = 2f_C$, tem-se uma atenuação de aproximadamente 16 dB para o sinal.

Já para $f_1 = 4f_C$, obtém-se um valor de *n* igual a 2 e com uma atenuação de aproximadamente 32 dB para o sinal. (Figura 4.40).

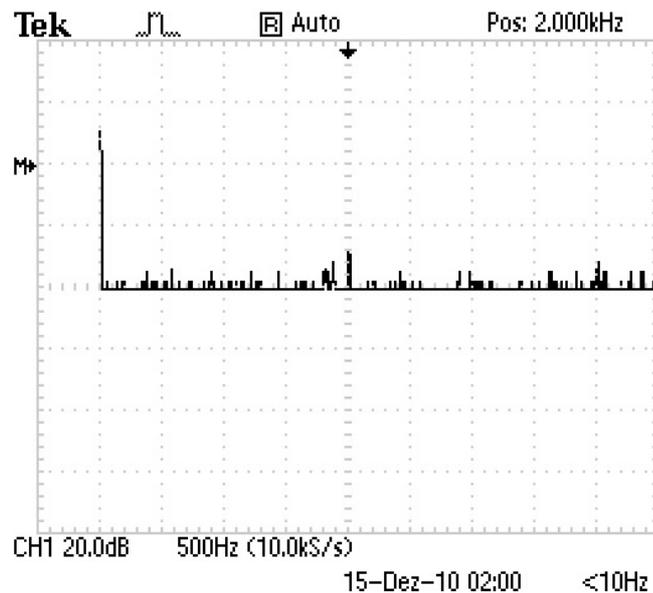



Figura 4. 40 - Figura 4. 34 - Frequência de Corte (c)

Assim, verifica-se experimentalmente que o filtro passa-baixas projetado proposto para ser aplicado ao processo de aquisição de sinais EMG.

Para o processo da conversão do sinal EMG, foi utilizado um microcontrolador dsPIC30F3014 fabricado pela Microchip®, possui 12 portas analógica digital. Nos testes de conversão A/D utilizou-se uma taxa de amostragem 2 vezes maior que o freqüência máxima do sinal desejado (1kHz) e uma quantização com 12 bits para se representar o sinal original.

A Figura 4.41 mostra gráfico do sinal gerado pelo equipamento EMG e já convertidos em sinais digitais através do microcontrolador.

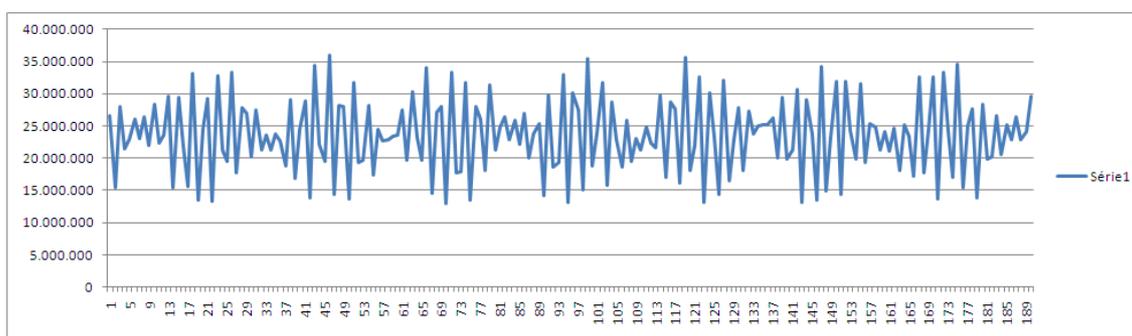



Figura 4. 41 - Digitalização das amostras EMG no computador.

O sinal foi convertido utilizando uma das portas A/D do microcontrolador e transmitido via USB para o computador para fins de testes na conversão. Por meio das amostras foi construído o gráfico da Figura 4.41.

Com relação à transmissão do sinal, as taxas de transmissão foram escolhidas de acordo com as taxas possíveis de serem programadas nos módulos transmissores e receptores, ou seja, foram escolhidas taxas cujos valores dos registros da UART do microcontrolador EMG e do dispositivo do GPRSx operassem na mesma freqüência de transmissão. A taxa de transmissão configurada para comunicação sem fio foi de 11500 bauds entre os módulos ZigBee e GPRSx.

Por meio do gerador de função, foi gerado um sinal senoidal com freqüência de 500Hz para testar a transmissão do mesmo, visto que, é um sinal conhecido e fácil visualização. Após o processo de conversão A/D foram transmitidas por meio do GPRSx utilizando a comunicação sem fio GPRS.

Nos testes de transmissão sem fio foi verificado algumas falhas e erros nos dados das amostras do sinal, devido às especificações do modem GSM/GPRS operar dentro de seu limiar.

Para resolver esse problema, foi implementado, no *software* do servidor, um algoritmo no qual se verificam os dados que chegam descartando as que estiverem com erros. A Figura 4.42(a) mostra o gráfico dos dados recebidos com algumas falhas e o gráfico da Figura 4.43(b) já processado pelo *software* corrigindo esses erros.

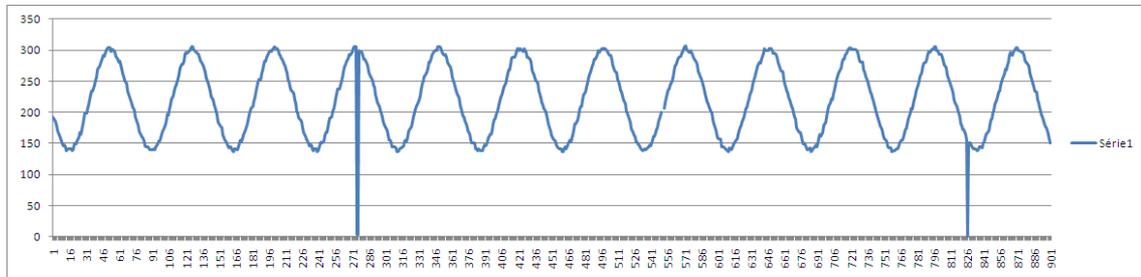



Figura 4. 42 - (a) Sinal recebido.

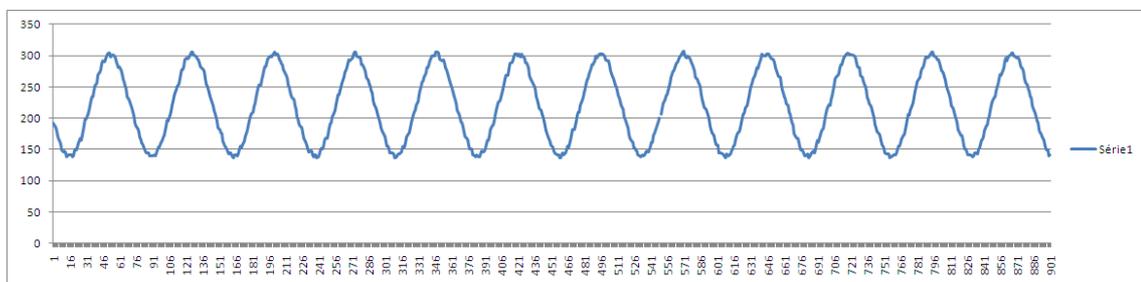



Figura 4. 43 – (b) Sinal tratado.

A Figura 4.44 mostra a interface do *software* desenvolvido para os testes na qual são recebidos, tratados e armazenados em arquivos além de visualizar o sinal por meio de um gráfico.

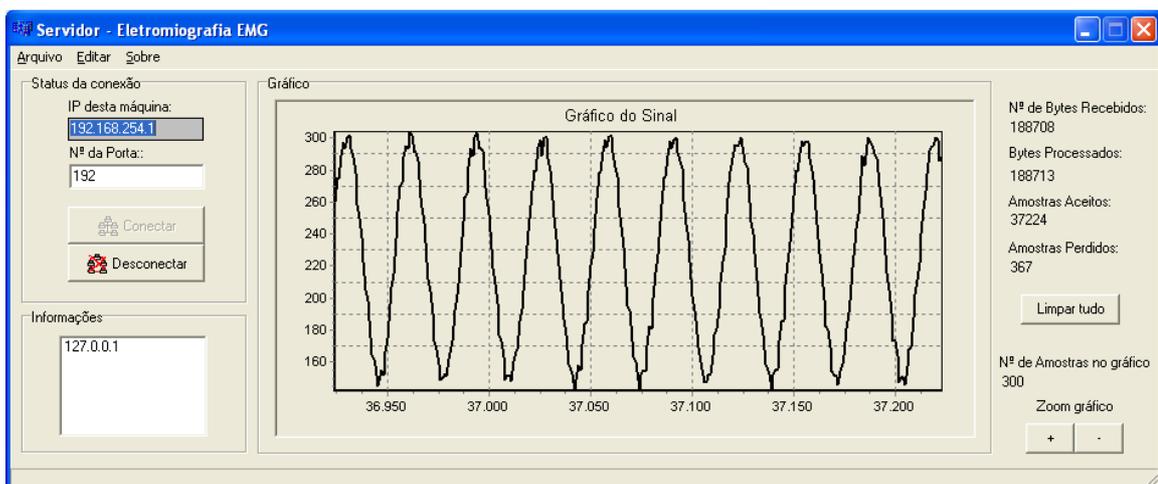



Figura 4. 44 - *Software* do Servidor

Os resultados esperados relacionam-se com a avaliação do desempenho do sistema desenvolvido e que consistiram em identificar o funcionamento correto do sistema e integridade dos sinais adquiridos. Desta forma, foram realizados testes de aquisição de dados tanto de sinais simulados (usando o equipamento EMG) como através de sinais reais (eletrodos). Análises comparativas com os sinais adquiridos pelo sistema e os observados em um osciloscópio indicam a similaridade dos sinais, comprovada com o valor do erro médio quadrático igual a zero. Já os testes do sistema de transmissão sem fio foram realizados considerando procedimentos semelhantes ao do sistema de aquisição consistiram em uma avaliação baseada na comparação entre o sinal transmitido e o recebido no ponto remoto. A análise consistiu no cálculo no erro médio quadrático, assumindo o sinal transmitido como o de referência. O valor encontrado para o erro foi igual a zero, indicando que o sinal recebido no ponto remoto correspondia ao transmitido. Análises adicionais mostrarem que os sinais capturados eram compatíveis com os sinais de EMG apresentados na literatura no que diz respeito à forma de onda e conteúdo espectral.

Capítulo 5

Conclusão e Trabalhos Futuros

Este capítulo apresenta as conclusões obtidas sobre o GPRSx, suas aplicações em diferentes processos, bem como algumas recomendações para trabalhos futuros.

5.1 Introdução

A integração de diferentes tecnologias de comunicação sem fio conduz à compreensão de que as redes são efetivamente uma infraestrutura de suporte para todo um conjunto de serviços envolvendo a interação entre pessoas, pessoas e máquinas e entre máquinas. A ênfase das tecnologias começa a se deslocar para as interfaces entre o ser humano e os serviços de comunicação e informação.

Conforme proposto, foi desenvolvida uma solução embarcada para integrar diferentes tecnologias sem fio; ZigBee, Wi-Fi e GPRS. Para tal solução foi construído, implementado e testado o módulo de *hardware* e *software* do GPRSx usando dois diferente processos, a saber: Automação residencial e telemedicina.

O resultado obtido foi um sistema que pode ser usado em diferentes áreas do conhecimento onde mobilidade e portabilidade sejam essenciais. O uso da solução proposta se foi possível através da utilização de microcontroladores para a solução embarcada. A concepção da interface com a aplicação tornou o sistema genérico e altamente flexível. Existem, porém, algumas limitações que podem ser gerenciadas de acordo com a aplicação. Uma das principais é o tempo de abertura de comunicação do serviço GPRS, em média em torno de 12 segundos. Porém uma vez conectado, o sistema passa está disponível a qualquer momento para receber e transmitir dados pela rede mantendo sempre aberta essa conexão.

Nos testes realizados para se verificar o funcionamento do sistema GPRSx na transmissão dos dados até o servidor remoto, constatou-se que a taxa de transmissão proporcionada pela rede GPRS nas operadoras disponíveis (TIM, CLARO, OI), varia dependendo da conexão e momento. Essa taxa de transmissão GPRS está em torno de 40kbps a 70kbps comparados com a taxa tecnologia ZigBee que é de 250kbps entre os módulos transmissor e receptor. A construção e teste de um protocolo de comunicação e a implementação de um algoritmo para processar essas diferentes taxas de transmissão para integrar essa rede heterogênea, também se constituiu numa contribuição.

Diante dos testes realizados utilizando o GPRSx no processo da automação residencial, se verificou a confiabilidade apresentada pelo software do sistema embarcado (OESx) no monitoramento e controle da casa. Isto foi realizado com a construção de módulos sensor e atuador da RSSF e através da integração, usando GPRSx, das redes de comunicação Wi-Fi e GPRS.

Já no processo de telemedicina, o módulo de aquisição de sinal EMG mostrou-se estável durante a operação com relação à interferência por ruído externo. O conjunto apresentou-se eficaz para a proposta, tanto na emulação e captação dos sinais EMG, amplificação e filtragem, conversão A/D e, principalmente, na transmissão sem fio dos dados gerados. Neste casso, a solução empregada para aquisição e transmissão dos dados coletados no sistema para um servidor remoto dos dados foi via ZigBee/solução embarcada GPRSx, cujos teste mostrarem de acordo para o fim proposto. O módulo XBee Pro utilizado para tal função é robusto e de fácil utilização. Sua configuração é simples e objetiva, sendo possível programá-lo via interface gráfica ou por linhas de comando. Esse módulo XBee Pro utilizado permitiu um alcance de até 41 metros em ambientes totalmente fechados, segundo os testes submetidos neste trabalho.

Em suma, o trabalho apresentou diversas experiências, destacou a funcionalidades e soluções decorrentes das aplicações em que o sistema GPRSx foi submetido, com destaque para a integração das redes sem fio.

Assim, diante do exposto, as conclusões do trabalho remetem à total funcionabilidade do sistema tanto no nível do *hardware* quanto de *software*, eficiência e a possibilidade de inserção de outros serviços que requerem o uso de comunicações sem fios.

Trabalhos Futuros

Para trabalhos futuros, sugere-se que os requisitos que ainda não foram atendidos sejam implementados. Entre novas funcionalidades de implementação e uso, sugere-se:

1. Como seqüência na evolução do sistema, pretende-se aplicar o conhecimento desenvolvido utilizando módulos mais modernos da tecnologia 3G e 4G com uma maior taxa de transmissão de dados pretendendo atender outros serviços que necessitam de uma maior largura de banda para transmissão dos dados na rede (modem 3G).

2. Incorporar mais tecnologias de comunicação sem fio, de forma que o sistema possa atender um número maior de serviços.
3. Otimizar o protocolo de comunicação entre o GPRSx e a central de controle, a fim de diminuir o número de *bytes* trafegados e assim minimizar os custos da solução, pois os serviços de comunicação via GPRS normalmente são cobrados por número de *bytes* transmitidos;
4. Adicionar um controle de segurança nos serviços de dados GPRS disponibilizados pelas operadoras;

Referências Bibliográficas

[1] FITZEK, F. H. P.; Katz, M. D. **Cooperation in Wireless Networks: Principles and Applications - Real Egoistic Behavior is to Cooperate**. 1st ed. 2006. 2nd printing, 2007, LII, 641 p., Hardcover . ISBN 1-4020-4710-X.

[2] SANTOS, Ricardo D. L. Redes **GSM, GPRS, EDGE e UMTS**. UFRJ. <http://www.gta.ufrj.br/ensino/eel879/trabalhos_vf_2008_2/ricardo/3.html> Acessado em 20 Dez. 2010.

[3] A.T. Nassif. "**Redes da Próxima Geração: Aspectos Técnicos, Econômicos e Cenários de Migração**". Dissertação de Mestrado. Departamento de Engenharia Elétrica, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 2004: 164.

[4] VANNI, Renata M. P. "**Integração de serviços em ambientes heterogêneos: uso de semântica para comunicação entre entidades em mudanças de contexto**" Tese de Doutorado, USP, São Carlos, 2009.

[5] FREZZA, José F. "**Modelos de Faturamento Telecomunicações Decorrentes da Convergência de Redes e Serviços**" Dissertação de Mestrado, PUC, Campinas, 2007.

[6] A.T. Nassif. "**Redes da Próxima Geração: Aspectos Técnicos, Econômicos e Cenários de Migração**". Dissertação de Mestrado. Departamento de Engenharia Elétrica, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 2004: 164.

[7] TANENBAUM, A. S. **Computer networks**. 4. ed. [S.l.]: Prentice Hall PTR, 2002.

[8] COSTA, Rafael, Rodrigo Santos, Sadraque Rodrigues, "**Análise de Nível de Sinal Wi-Fi: Estudo de Caso na Sol Informática**". Instituto de Estudos Superiores da Amazônia – IESAM, Belém, PA, 2009

[9] TANENBAUM, Andrew S. "**Redes de Computadores**", 4ª Edição - 2003.

[10] McDermott-Wells, P., *What is Bluetooth?* and *Bluetooth scatternet models*. Potentials, IEEE, vol.23, no.5, pp. 33-39, 2005. DOI: http://dx.doi.org/10.1109/MP.2005.13689143 and DOI: http://dx.doi.org/10.1109/MP.2005.1368914.

[11] PETERDON, L. L., Davie, B. S. **Computer networks: a systems approach**, 4ª. edição, Publicado por Morgan Kaufmann, 2007.

[12] CIARDIELLO, Tony. "**Wireless communications for industrial control and monitoring**", IEEE Computing and Control Engineering pp. 12–13,2005

[13] BAKER, Nick. "**Zigbee and bluetooth: Strengths and weakenesses for industrial applications**", IEEE Computing and Control Engineering pp. 20–25, 2005

[14] EVANGELISTA, Davi Stoll, Trabalho de Graduação: "**INTEGRAÇÃO DE REDES DE SENSORES ZIGBEE PARA AUTOMAÇÃO PREDIAL UTILIZANDO MÓDULOS MESHBEAN**", setembro de 2010.

[15] GISLASON, D. "**Zigbee Wireless Networking -** Electronics & Electrical" Editora Newnes, 2008.

[16] PINHEIRO, José Ricardo G, ULSON, J. Alfredo C, CAMPOS, Fernando S, Artigo: "**Sistema de Medição para Localização de Faltas em Alimentadores de Distribuição de Energia Elétrica Baseado em Redes de Sensores sem Fio Padrão IEEE 802.15.4**", 2008.

[17] DAVI STOLL EVANGELISTA, Trabalho de Graduação: "INTEGRAÇÃO DE REDES DE SENSORES ZIGBEE PARA AUTOMAÇÃO PREDIAL UTILIZANDO MÓDULOS MESHBEAN", setembro de 2010.

[18] SILVA, Renan R; CASAGRANDE, Rogério A. "**Gerenciamento de servidores Linux, a partir de dispositivos celulares com suporte a J2ME, utilizando protocolo de comunicação SSH**"

[19] BOWEN. Calvert L. Artigo: "**USING WIRELESS NETWORKS TO ASSIST NAVIGATION FOR INDIVIDUALS WITH DISABILITIES**".

[20] IM, Jinsung; CHOI, Dukho; SHIN, Kangsoo; KIM, Sunryang; SOHN, Jinho – "**Location based Hybrid Application Using Wi-Fi Zone**".

[21] FIGUEIREDO, Rangel A; BONAMI, Rafael F.; – "**Projeto de um Controlador de Alarme de Carro via SMS**", 2007.

[22] JAYASINGHE, Gamini; FAHMY, Farazy; GAJAWEERA, Nuwan; DIAS, Dileeka "**A GSM ALARM DEVICE FOR DISASTER EARLY WARNING**". University of Moratuw, 2006

[23] FERRAZ, David; TORRES, José M; MOREIRA, Pedro S; MOREIRA, Rui S. – "**Monitorização Vital e Ambiental para Grupos de Pacientes recorrendo a Redes de Sensores**".

[24] H. Hong-jiang; Y. Zhu-qiang; W. Xiao-jie, "**Design and Realization of Wireless Sensor Network Gateway Based on ZigBee and GPRS**" Manchester, England, UK: 2009, pp. 196-199.

[25] FAGUNDES, E. M. "**A convergência das redes de voz**", 2004. Disponível em: <http://www.efagundes.com/Artigos/Arquivos_pdf/Convergencia_das_redes_de%20voz.PDF >. Acessado em: 29 set. 2005. Citado por Renato de Oliveira Moraes em "Tecnologia e

Forças Competitivas: Estudo de Caso sobre O VOIP em uma concessionária de Telecomunicações".

[26] STRAMOSK, Arnaldo; FERREIRA, Golberi. – Artigo: "**MÓDULO PARA AUTOMAÇÃO RESIDENCIAL COM TECNOLOGIA MÓVEL GPRS**", Revista Ilha Digital, volume 1, páginas 83 – 89, 2009.

[27] MACHADO, Ricardo S. F. "**Modelagem e prototipação de uma aplicação LBS utilizando a plataforma Android**", 2010.

[28] JOHNSON, Greg, (2006). Conferência sobre a tendência para o futuro digital. Acedido em http://mlonlinegeneration.wordpress.com/2006/09/29/as-cinco-tendencias-para-o-futuro-digital-por-greg-johnson/

[28] OLIVEIRA, André S; ANDRADE, Fernando S. "**Sistemas Embarcados: Hardware e Firmware na Prática"**. Editora Érica Ltda, 2006 – 1º Edição.

[29] SANTOS, Ricardo D. L. "**Redes GSM, GPRS, EDGE e UMTS. UFRJ**" <http://www.gta.ufrj.br/ensino/eel879/trabalhos_vf_2008_2/ricardo/3.html> Acessado em 20 Dez. 2010.

[30] Usando comandos de modem AT básica, 2004 Disponíveis em <http://support.microsoft.com/kb/164659/pt-br> Acesso em 21 Dez de 2010.

[31] Wikipédia, Sistema Embarcado, modificada pela última vez às 20h09min de 16 de dezembro de 2010. < http://pt.wikipedia.org/wiki/Sistema_embarcado> Acesso em 17 Dez. 2010.

[32] BOLZANI, Caio A. M. **Residências Inteligentes**: um curso de Domótica. 1.ed. São Paulo: Editora Livraria da Física, 2004.

[33] WOLF, Ângelo. **Supervisão remota via web de ambiente automatizado simulado**. Centro Universitário FEEVALE – Novo Hamburgo. 2005.

[34] ANGEL, Patrícia Marta – FRAIGI, Liliana Beatriz. **INTRODUCCION A LA DOMOTICA**. 1993.

[35] AURESIDE (Associação Brasileira de Automação Residencial). **Temas técnicos**: Homeoffice, Novidades na Rede Doméstica. Disponível em: <http://www.aureside.org.br/temastec/default.asp?file=homeoff ice.asp> Acesso em: 24/12/2004.

[36] OLIVEIRA, A. M.; **Automação Residencial**. Monografia apresentada ao Departamento de Ciências da Administração e Tecnologia, do Centro Universitário de Araraquara. 2005.

[37] TEZA, V. R.; **Alguns aspectos sobre a Automação Residencial - Domótica**. Dissertação submetida à Universidade Federal de Santa Catarina, 2002.

[38] LIN, Shen; XIANGQUAN Shi; MING, Ling. "**A wireless network based on the combinationof Zigbee and GPRS"** Nanjing University of Science and Technology, Nanjing, 210094 - China, 2008.

[39] SUN, Zengyou; ZHAO, Tao; CHE, Chenghua. "**Design Of Electric Power Monitoring System Based On ZigBee And GPRS"**. School of Information Engineering, Northeast Dianli University. Jilin City, Jilin Province - China, 2009.

[40] WANG, Guozhu; ZHANG, Junguo; LI, Wenbin; CUI, Dongxu; JING Ye, **A Forest Fire Monitoring System Based on GPRS and ZigBee Wireless Sensor Network**. Beijing Forestry University - China, 2010.

[41] LI, Haifeng. "**Monitoring and Alarming System Based on Zigbee Technology"** School of Information Engineering, Tianjin University of Commerce, Tianjin 300134, P.R.China, 2011.

[42] ZHAO, Z.; CUI, L.; Easimed: **A remote health care solution**. In: *27th Annual International Conference of the Engineering in Medicine and Biology Society*. Shanghai, China: IEEE, p.2145-2148, 2005.